

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ
TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA

Hornicko-geologická fakulta

Institut environmentálního inženýrství

KOTLE NA BIOMASU – ENVIRONMENTÁLNÍ HLEDISKA
PROVOZU

Biomass Boiler - Environmental Aspects Operation

bakalářská práce

Autor:

Jaroslav Míča

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Iva Janáková, Ph.D.

Most 2010

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Hornicko-geologická fakulta
Institut environmentálního inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Jaroslav Míča**
Studijní program: B2102 Nerostné suroviny
Studijní obor: 3904R022 Zpracování a zneškodňování odpadů
Téma: **Kotle na biomasu – environmentální hlediska provozu**
Biomass Boiler - Environmental Aspects Operation

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Současná legislativa v oblasti spalování biomasy
3. Požadavky na zařízení pro spalování biomasy
4. Charakteristika spalovaných surovin
5. Spalování biomasy
6. Systémy čištění spalín vznikajících ze spalování biomasy, tvorba dioxinů
7. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Noskievič, P., et al. *Biomasa a její energetické využití*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996 - 68 s. : il. ISBN 80-7078-367-2.

Malatřák, J., Gálik, R. *Biomasa pro výrobu energie : vědecká monografie*. Praha : Česká zemědělská univerzita, 2008 - 206 s. : il. ISBN 978-80-213-1810-6.

Klass, D. L. *Biomass for renewable energy, fuels, and chemicals*. San Diego : Academic Press, c1998 - xv, 651 s. : il. ISBN 0-12-410950-0.

Juchelková, D. *Likvidace a využití odpadů*. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2000 - 73 s. : il. ISBN 80-7078-747-3.

Glassman, R.A.Y. *Combustion*. 4th ed. Burlington : Elsevier, c2008 - xx, 773 s. : il. ISBN 978-0-12-088573-2.

Chau, J. et al. *Techno-economic analysis of wood biomass boilers for the greenhouse industry*. Applied Energy, Volume 86, Issue 3, March 2009, Pages 364-37.

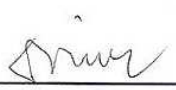
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Iva Janáková, Ph.D.**

Datum zadání: 31.10.2009

Datum odevzdání: 15.04.2010




prof. Ing. Vojtech Dirner, CSc.
vedoucí institutu


prof. Ing. Vladimír Slivka, CSc., Dr.h.c.
děkan fakulty

Autorské prohlášení

Celou bakalářskou práci včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

Byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3).

Souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Mostě dne 15. 4. 2010

Jaroslav Miča

Anotace

V této práci jsou uvedeny legislativní předpoklady pro spalování biomasy, nejběžnější druhy biopaliv určených zejména pro kotle malých a středních výkonů včetně jejich charakteristiky. Další část je věnována základním typům topenišť pro biopaliva. Obsahuje některé praktické výpočty, popisy spalovacích procesů, zařízení na čištění spalin a možnost vzniku dioxinů a furanů.

Klíčová slova

biomasa, biopaliva, čištění spalin, dioxiny, spalování

Summary

In this thesis, there are given legislative conditions for the combustion of biomass, the most common types of biofuels tailored especially to small and medium-sized boilers, including their performance characteristics. Another part is devoted to basic types of incinerators for biofuels. It contains some practical computations, descriptions of combustion processes and apparatus for cleaning the flue gas with possible inception of dioxins and furans.

Keywords

biomass, biofuels, cleaning of exhaust gases, dioxins, combustion

Děkuji paní Ing. Ivě Janáková, Ph.D. za profesionální a metodické vedení při zpracování bakalářské práce.

Obsah

1	Úvod a cíl práce	1
2	Současná legislativa v oblasti spalování biomasy	2
2.1	Emisní limity ve velkých a středních zdrojích znečištění spalující biomasu nebo dřevo	3
2.2	Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší spalující biomasu nebo dřevo	3
2.3	Účinnost spalování.....	4
2.4	Požadavky na kvalitu biopaliv	5
3	Požadavky na zařízení pro spalování biomasy	8
3.1	Spalovací technika	9
4	Charakteristika spalovaných surovin	16
4.1	Klasifikace tuhých biopaliv podle původu a zdroje.....	16
4.2	Mechanická úprava pevných biopaliv	17
4.3	Základní složení a vlastnosti tuhých biopaliv	21
5	Spalování biomasy	28
5.1	Druhy spalovacích procesů	28
5.2	Stechiometrie spalovacích procesů	29
5.3	Procesy při spalování biomasy	31
6	Systémy čištění spalin vznikajících ze spalování biomasy.....	35
6.1	Zařízení na odprášení spalin	35
7	Závěr	46
	Seznam použité literatury	47
	Seznam obrázků.....	51
	Seznam tabulek	52
	Seznam příloh	53

Seznam použitých zkratek

PCDD – Polychlorované dibenzodioxiny

PCDF – Polychlorované dibenzofurany

PCB – Polychlorované bifenyly

PVC – Polyvinylchlorid

TEQ – Ekvivalent toxicity

1 Úvod a cíl práce

Se snižujícími se zásobami klasických fosilních paliv roste význam obnovitelných zdrojů energie, zejména biomasy. Biomasa pro výrobu energie se začíná využívat ve všech dostupných formách, ať jsou to odpadní a vedlejší produkty, nebo cíleně pěstované energetické rostliny, které jsou tím významné pro samotnou zemědělskou činnost. V neposlední řadě se energetické využití biomasy stává podmínkou trvale udržitelného rozvoje společnosti. Využití biomasy je vhodné přímo u zdrojů jejího vzniku, téměř bez nákladů na dopravu a předurčuje jí pro spalování v menších lokálních provozech a rodinných domcích.

Při využití biomasy pro výrobu energie je důležité snižovat negativní dopady provozu spalovacích zařízení na životní prostředí. Je proto bezpodmínečně nutné dodržovat optimální podmínky spalovacích procesů, a to pouze v zařízeních, která jsou určena pro dané biopalivo. Pro konstrukci těchto spalovacích zařízení je tedy zapotřebí znát vlastnosti a charakteristiky různých druhů biopaliva.

Cílem práce je seznámit s problematikou spalování biopaliv vyrobených z různých druhů biomasy, zvláště z dřevních odpadů a některých energeticky výhodných bylin a stébelnin. Jsou popsány rozdíly mezi jednotlivými druhy biopaliv, jejich charakteristika a porovnání s některými fosilními palivy. Dále je cílem určení typů topenišť a kotlů vhodných ke spalování určeného druhu biopaliva a cesty vedoucí k eliminaci škodlivin ve spalinách.

2 Současná legislativa v oblasti spalování biomasy

Základní pojmy z hlediska emisních limitů a stacionárních zdrojů znečištění ovzduší s ohledem na tuhá biopaliva jsou obsaženy v nařízení vlády č. 352/2002 Sb. ze dne 3. 7. 2002, z něhož vychází současná legislativa týkající se spalování biomasy :

- **Spalovací stacionární zdroj znečišťování ovzduší** – je zařízení, ve kterém dochází ke spalovacím technologickým procesům, při kterých dochází k oxidaci paliva za účelem energetického využití.
- **Spalování** – je technologický proces oxidace paliv obecně, za účelem výroby tepla. Ke spalování patří také úprava paliv, filtrace emisí, odvod spalin do ovzduší, měření a regulace.
- **Palivo** – je tuhý, kapalný nebo plyný materiál s určitým stupněm hořlavosti, který je určen ke spalování v stacionárních i mobilních zdrojích znečištění za účelem získání energetického obsahu.
- **Spoluspalování paliva** – ve spalovacím zařízení může být spalováno více druhů paliv, a to buď střídavě nebo současně.
- **Biomasa** – rostlinný materiál, který lze použít jako palivo pro účely využití jeho energetického obsahu, pokud pochází ze zemědělství, lesnictví, nebo potravinářského průmyslu, z výroby surové buničiny a z výroby papíru z buničiny, ze zpracování korku, ze zpracování dřeva s výjimkou dřevního odpadu, který obsahuje halogenované organické sloučeniny nebo těžké kovy v důsledku ošetření látkami na ochranu dřeva nebo nátěrovými hmotami a dřevní odpad pocházející ze stavebnictví.
- **Biopalivo** – standardně upravené palivo z biomasy, např. pelety, brikety, pakety apod.
- **Emisní limit** – maximální možné množství emise, jejíž produkce je legální. [1]
- **Velké a střední zdroje znečištění spalující biomasu** – jmenovité výkony od 300kW do 50MW
- **Malé zdroje znečištění spalující biomasu** – jmenovitý výkon do 300kW

2.1 Emisní limity ve velkých a středních zdrojích znečištění spalující biomasu nebo dřevo

„Jmenovité tepelné výkony velkých a středních zdrojů téhož provozovatele se pro účely stanovení emisních limitů sčítají, jestliže jsou umístěny ve stejné místnosti, stavbě nebo provozním celku, spalují stejný druh paliva a spaliny jsou vypouštěny společným komínem bez ohledu na počet komínových průduchů nebo by s ohledem na uspořádání a druh používaného paliva mohly být vypouštěny společným komínem. Emisní limity platí pro vztažné podmínky a obsah kyslíku v nosném plynu. (tabulka 1) Není-li stanoveno jinak, platí obecné emisní limity tmavosti kouře stanovené přílohou č. 4 k nařízení vlády č.352/2002 Sb.“ [2]

Tabulka 1 - Spalovací zařízení spalující dřevo nebo biomasu [2]

Jmenovitý tepelný výkon (MW)	Emisní limit v ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ vztaženo na normální stavové podmínky a suchý plyn)					Referenční obsah kyslíku O_2 v %
	tuhé znečišťující látky	oxid siřičitý	oxidy dusíku NO_2	Oxid uhelnatý	Organické látky jako suma uhlíku	
0,3 až 50	250	2500	650	650	50	11

2.2 Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší spalující biomasu nebo dřevo

U teplovodních kotlů na spalování biomasy do výkonu 300kW jsou emisní limity upraveny směrnicí č. 13 z roku 2006 podle ČSN 07 0204 a ČSN EN 305-5. [3]. (tabulka 2)

Tabulka 2 - Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší [3]

CO	$\text{mg}\cdot\text{kWh}^{-1}$	4 500
	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	2 000
NO_x	$\text{mg}\cdot\text{kWh}^{-1}$	550
	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	250
$\text{S C}_x \text{H}_y$	$\text{mg}\cdot\text{kWh}^{-1}$	130
	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	60
Tuhé znečišťující látky	$\text{mg}\cdot\text{kWh}^{-1}$	420
	$\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$	190

2.3 Účinnost spalování

Každý zdroj musí spalovat palivo s účinností spalování, která je uvedena v příloze D.1 ČSN 070240 (tabulka 3)

Tabulka 3 - Platné limitní účinnosti spalování pro spotřebiče spalující tuhá paliva pro uvedený výkonový rozsah [4]

Jmenovitý tepelný výkon (kW)	Datum uvedení spotřebiče do provozu		
	do 31. 12. 1982	do 31. 12. 1985	do 31. 12. 1990
15 až 20	68%	69%	70%
20 až 50	70%	71%	72%
větší 50	72%	73%	74%

Účinnost spalování se vypočítává metodou nepřímou a vychází z naměřených a vypočítaných údajů, které jsou uvedeny v tabulce. (tabulka 4)

Tabulka 4 - Účinnost spalování nepřímou metodou [4]

Měřené veličiny			
Název	Značka	Jednotka	Metoda měření
Obsah kyslíku	φ (O ₂)	[%]	Elektrochemický článek
Obsah CO	φ (CO)	[ml/m ³] [ppm]	Elektrochemický článek
Teplota spalin	t	[°C]	Termočlánek
Teplota spalovacího vzduchu	t(sv)	[°C]	Termočlánek
Statický tlak ve spalinové cestě	p	[Pa]	Membránové čidlo
Vypočtené údaje			
Název	Značka	Jednotka	Metoda výpočtu
Obsah oxidu uhličitého	φ (CO ₂)	[%]	Výpočtem z max. obsahu CO ₂ v palivu
Přebytek vzduchu	n	[-]	Poměrem skutečného množství vzduchu k teoretické spotřebě
Komínová ztráta	ξ	[%]	Z teploty spalin, nasávaného vzduchu, kyslíku a parametrů paliva

Účinnost spalování se vypočte ze vztahu [1]:

$$\eta = 100 - \xi \quad (2.1)$$

ξ - komínová ztráta (%)

η - účinnost spalování (%)

Při hodnocení účinnosti spalování se počítá pouze komínová ztráta, o jiných ztrátách se neuvažuje. [4]

Každý spalovací zdroj musí spalovat palivo tak, aby koncentrace CO ve spalínách nepřekročila maximální hodnotu $1\,000\text{ ml}\cdot\text{m}^{-3}$ (ppm) při referenčním obsahu kyslíku O_2 . [4]

Koncentrace CO se vypočítává podle vztahu [2]:

$$CO_{\max} = CO \cdot n \quad (2.2)$$

$CO_{\max} < 1000$ (ppm)

CO_{\max} – maximální hodnota CO (ppm)

CO – naměřené hodnoty (ppm)

n – přebytek vzduchu

2.4 Požadavky na kvalitu biopaliv

Výrobci topenišť a kotlů potřebují pro konstrukce spalovacích zařízení znát formy biopaliv vyráběných z biomasy a proto dochází k standardizaci základních druhů, zejména lisovaných biopaliv. Jedná se zejména o dřevní pelety, dřevní brikety, dřevní kůrové, slaměné a papírové pakety, pelety ze stébelnin, brikety ze stébelnin. S ohledem na ochranu ovzduší jsou důležitá legislativní nařízení pro výrobu briket z biomasy, aby nedocházelo k používání chemicky ošetřených surovin a nebezpečných pojiv. [5]

Brikety mohou být vyrobeny pouze s použitím takových pojiv, o nichž je známo, že jejich spalováním nevznikají škodlivější nebo vyšší emise znečišťujících látek než při spalování základních složek, na jejichž bázi jsou paliva vyrobena. Dřevěné brikety smějí být vyrobeny pouze z dřevní hmoty, která nebyla před briketováním chemicky ošetřena a splňuje maximální přípustné hodnoty uvedené v tabulce vyhlášky č. 357/2002 Sb. [6] (tabulka 5)

Tabulka 5 - Maximální přípustné hodnoty po dřevěné brikety podle vyhlášky č. 3570/2002 Sb. [6]

Maximální přípustný obsah	
Voda	21%
Popel	1,5%
Výhřevnost	17,5-19,5 MJ.kg ⁻¹
Chlor (Cl)	300 mg.kg ⁻¹
Arzen (As)	0,8 mg.kg ⁻¹
Kadmium (Cd)	0,5 mg.kg ⁻¹
Chrom (Cr^{VII})	8 mg.kg ⁻¹
Měď (Cu)	5 mg.kg ⁻¹
Rtut' (Hg)	0,05 mg.kg ⁻¹
Olovo (Pb)	10 mg.kg ⁻¹
Zinek (Zn)	100 mg.kg ⁻¹

Kvalitu briket z dřevního odpadu ošetřuje směrnice č. 14 – 2006 MŽP ČR. Tato směrnice se vztahuje na brikety vyrobené z dřevního odpadu a na brikety vyrobené z dřevního odpadu s maximální příměsí 20% rostlinného odpadu. Požadavky jsou uvedeny v následující tabulce. [7] (tabulka 6)

Tabulka 6 – Specifické požadavky pro brikety podle směrnice č. 14 - 2006 MŽP ČR [7]

Výhřevnost vztažená na bezvodý stav	min. 17 MJ.k ⁻¹
Obsah vody celkový	max. 10% hm.
Obsah popela přepočtený na bezvodý stav	max. 1,5 % hm.
Hustota brikety	min. 900 kg.m ³
Obsahy prvku vztažené na bezvodý stav vzorku:	
Dusík celkový (N celkem)	max. 0,30 % hm.

Obsahy prvku vztažené na bezvodý stav vzorku:	
Síra celková (S celkem)	max. 0,08 % hm.
Chlór celkový (Cl celkem)	max. 0,03 % hm.
Fluór celkový (F celkem)	max. 25,0· g·t ⁻¹
Rtut' (Hg)	max. 0,05 g·t ⁻¹
Kadmium (Cd)	max. 0,50 g·t ⁻¹
Arsen (As)	max. 0,80 g·t ⁻¹
Chrom (Cr^{VII})	max. 8,00 g·t ⁻¹
Olovo (Pb)	max. 10 g·t ⁻¹
Měď (Cu)	max. 5,0 g·t ⁻¹

Následuje přehled souvisejících právních předpisů k energetickému využití biomasy a emisním limitům:

- 5/2007 Sb. vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 482/2005 Sb. o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy
- 180/2005 Sb. zákon o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie a změně některých zákonů (zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů)
- Nařízení vlády odstavec 1 zákona č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů ve znění zákona č. 92/2004 Sb., zákona č.182/2005 Sb. a zákona 385/2005 Sb.
- Nařízení vlády č. 146/2007 o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší
- Norma ČSN P CEN/TS 14961 Tuhá biopaliva – Specifikace a třídy paliv
- Technická směrnice č. 55 – 2008 – směrnice pro biopaliva

3 Požadavky na zařízení pro spalování biomasy

Zařízení pro spalování biomasy si kladou za cíl pokud možná co nejefektivnější výrobu tepla a elektřiny s nízkou úrovní škodlivin. Technologie spalování dřeva jsou technicky vyzrálé a vyzkoušené. Postupy pro energetické využití ostatních biomas oproti tomu představují poměrně mladé technologie, z nichž některé jsou na trhu dostupné jen částečně. [8]

Rozmanitost forem biopaliv a jejich tepelného obsahu a požadavky uživatelů ovlivňují především výkonnost a provedení topenišť a na ně napojených výměníků tepla. Prvním požadavkem vedle určení druhu biopaliva je požadavek na tepelný výkon, který se dnes udává v kW nebo MW. Ten se pohybuje od cca 5 kW u výkonnějších pokojových kamen s účinností kolem 50% (velká komínová ztráta) přes 20-50 kW u dřevozplyňujících kotlů pro rodinné domy až k vysoce výkonným zařízením pro vytápění vesnic a měst s tepelným výkonem vysoko přes 10 MW, i když už řada těchto tepláren zpravidla spaluje s biomasou i uhlí. [9]

Vedle speciálních zařízení, jako jsou krby s ohřívacími vložkami na ohřev vody nebo klasická kachlová kamna s podobným zařízením, praxi zajímají především dřevozplyňující kotle, které dodává několik našich výrobců v čele s firmami CANKAŘ (ATMOS) a VERNER na náš trh. Jsou to po běžném provedení topenišť na spalování dřeva první topidla vyvinutá na vědeckém základě, odpovídající požadavkům na dokonalé zplyňování a katalytické prohoření spalných plynů s efektivním předáním tepla do vody. [27] (příloha 1)

Střední kategorii kotlů s výkonností 600 až 2 000 kW je určena pro větší podniky a malé obce. Palivem je zpravidla dřevní štěpka nebo sláma, případně tvarovaná paliva a kusové dřevo. Mezi naše přední výrobce těchto zařízení patří např. firma VIADRUS nebo KOVOSTAFLUID Hranice. [9] (příloha 2), (příloha 1)

Nejvyšší výkonovou kategorii kotlů na spalování dřevních paliv představují výrobky ČKD DUKLA Praha a ROUČKA Slatina s tepelnými výkony přes 2 MW.[9]

3.1 Spalovací technika

Volba systému a požadavky na zařízení záleží také na tom, jakou formu má biomasa, která se má spalovat, například třísky, řezanka, pelety, brikety, sláma a podobně.

Balíky slámy je možné spalovat v cigárových topeništích, která se mohou používat v rozmezí výkonů 1 MW až maximálně 20 MW. [8]

Dřevěná polínka, brikety se mohou používat v šachtových a posuvných roštových topeništích. [8]

Dřevo zpracované na **štěpku** je možné používat téměř ve všech vytápěcích systémech (šachtových topeništích, topeništích se spodním přívodem paliva, roštových a fluidních topeništích). [8]

Pelety vykazují možnosti použití ve vytápěcích zařízeních podobně jako štěpka. [26]

Řezanku ze stébelnin je možné používat v topeništích se spodním přívodem paliva, posuvných roštových topeništích a za určitých podmínek i ve fluidních topeništích v rámci velmi širokého rozmezí výkonů. [8]

Třísky ze dřeva se mohou až do určitého podílu v palivu spalovat v topeništích se spodním přívodem paliva. V posuvných roštových, cyklónových a fluidních topeništích neexistují žádná omezení. [8]

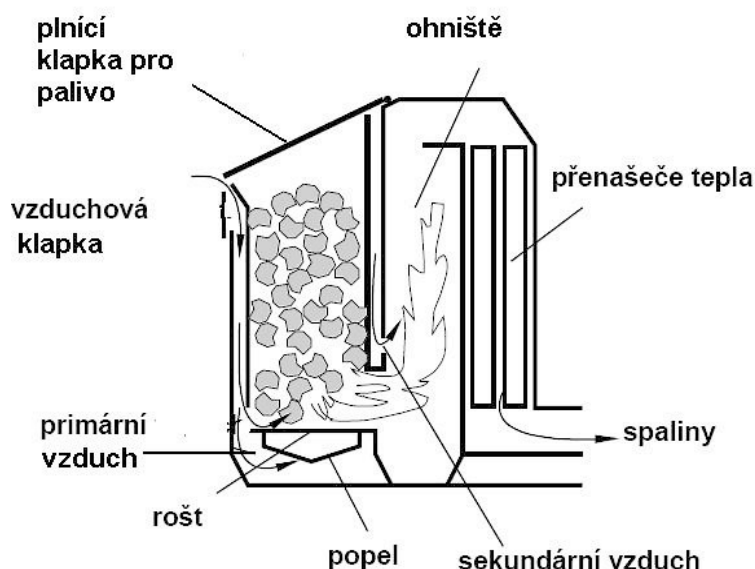
Biomasu ve formě prachu je možné používat pouze v cyklónových topeništích. [26]

Topeniště a uspořádání kotlů na biopaliv

Topeniště a uspořádání kotlů na biopaliva by mělo vyhovovat nárokům na prostor lehčího paliva a hlavně velikostí spalovacího prostoru pro prohoření spalných plynů. Zařízení na spalování biopaliv se liší od klasických kotlů na fosilní paliva zejména vyššími nároky na přiváděný spalný vzduch. Primární vzduch je vháněn pod rošt, sekundární vzduch přímo do hořících plynů a u některých velkých zařízení bývá zaváděn i terciální vzduch. [8]

Šachtová topeniště

Zařízení pracují na principu dolního nebo bočního vyhoření (plamen zasahuje do spalovací komory ze spodu nebo ze strany). Přívod vzduchu přirozeným tahem nebo dmýchadlem probíhá u moderních zařízení odděleně ve formě primárního a sekundárního vzduchu. Primární vzduch se přivádí do prostoru pod roštem a vedle roštu, sekundární vzduch se přivádí přímo do plameniště (obrázek 1). Poté, co plyny ve spalovacím prostoru vyhoří, jsou odvedeny skrze předavač tepla. Šachtová topeniště se používají ve spodním rozsahu výkonů od 20 kW až do 250 kW, pro spalování kusového dřeva, štěpky a briket. [8]



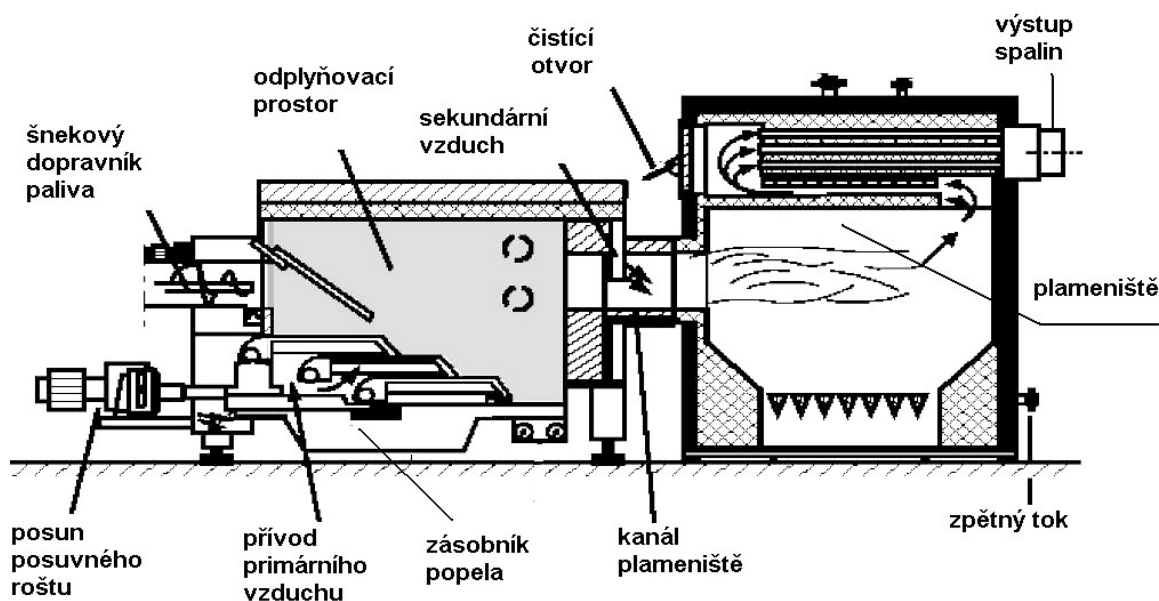
Obrázek 1 – Šachtové topeniště [8]

Předtopeniště

Předtopeniště (obrázek 2) sestává z odděleného ohniště, které je provedeno jako odplyňovací prostor, a z kotle s plameništěm chlazeným vodou. Palivo je dopravováno do vyzděného odplyňovacího prostoru buď padací šachtou, nebo šnekovým transportérem. V odplyňovacím prostoru se palivo za pomoci dávkovaného přidání vzduchu částečně spálí. Uvolněním energie se zbylá část paliva promění na plyn. Plyné produkty se dostanou do plameniště. [8]

Zde se smíchají se sekundárním vzduchem a úplně shoří. Následně jsou horké spaliny vedeny kotlem a zde předají svou energii teplotnosnému médium.

Pro paliva s nízkým obsahem popela je odplyňovací prostor opatřen statickým šikmým roštem, pro vlhká paliva a paliva bohatá na popel je možné nainstalovat posuvný rošt. Předtopeniště mohou být provozována plně automaticky a kontinuálně a vyznačují se dobrou regulovatelností. Zařízení se vyrábí v rozmezí výkonů od 35 kW do 3 MW tepelného výkonu topeniště. Jsou obzvláště vhodná pro dřevitá paliva ve formě štěrky. [8]



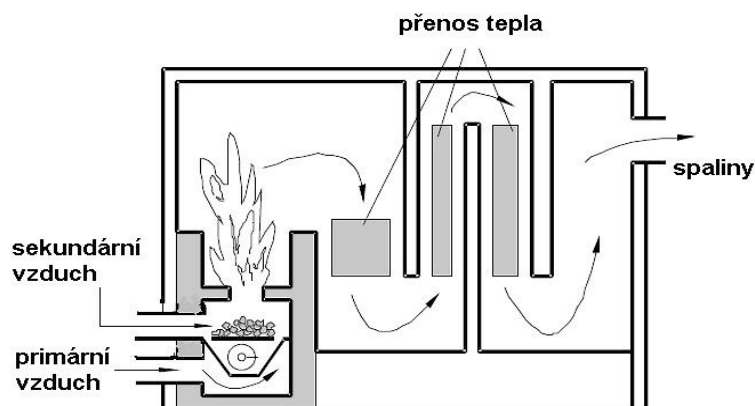
Obrázek 2 – Předtopeniště [8]

Topeniště se spodním příívodem paliva

Topeniště se spodním příívodem paliva se za pomoci šnekového transportéru zavází automaticky ze sila (obrázek 3). Palivo se pomocí mechanického příkladače přivádí zdola prohloubení ve spalovacím prostoru. Při přivádění paliva je také třeba počítat s bezpečnostními zařízeními (např. termostatem a přípojkou požární vody). [8]

V prohlubni spalovacího prostoru se palivo suší, odplyní a s pomocí primárního vzduchu se promění na plyn. Přitom vznikající plyny se s primárním vzduchem dostanou skrze vrchní žhavou vrstvu, zapálí se a za pomoci sekundárního vzduchu se úplně spálí. Popel vzniklý v prohlubni spalovacího prostoru se odstraní motorově poháněným vyprazdňovacím šnekem. Tento typ vytápění je široce rozšířen v oblasti tepelného využití štěrky v dřevařském průmyslu, protože pracuje téměř plně automaticky a ve srovnání s ostatními způsoby spalování využívajícími cyklónová nebo roštová topeniště sestává

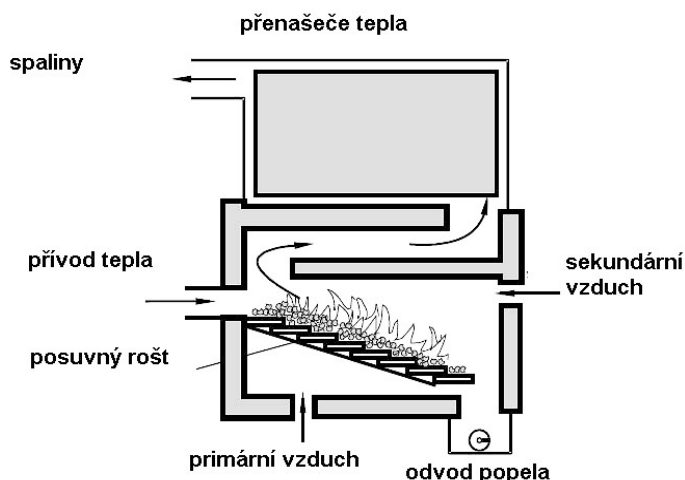
z nemnoha částí, které jsou poměrně jednoduché. Topeniště se spodním přívodem paliva se nabízejí v širokém rozmezí výkonu od 20 kW do 2 MW. [8]



Obrázek 3 – Topeniště se spodním přívodem paliva [8]

Roštová topeniště pro dřevitou biomasu

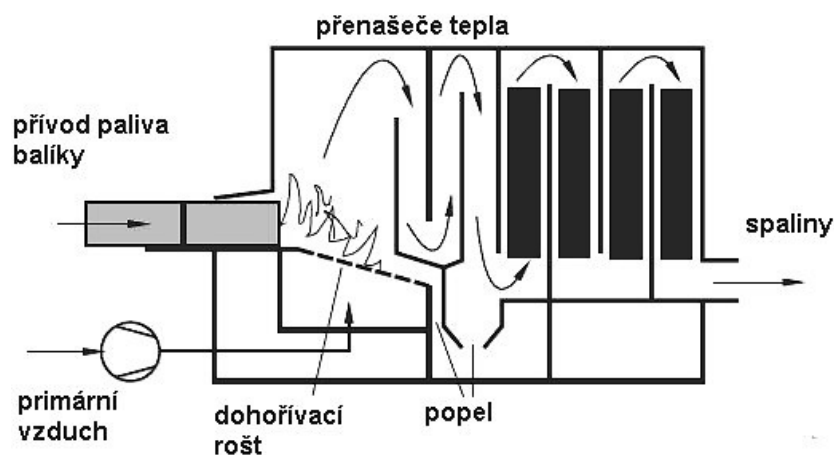
Roštová topeniště se nejčastěji používají v oblasti výkonů okolo 1 MW a větších. V současnosti jsou pro vytápění za pomoci dřevité biomasy k dispozici topeniště s posuvným, pohyblivým a vratným roštem. Jako palivo je vhodná i problematická biomasa jako vlhké zbytky dřeva nebo odřezky kůry. Topeniště s posuvným roštem je schematicky znázorněno. (obrázek 4) Rošt se zavází ze skladu paliva za pomoci šnekového dopravníku nebo hydraulickým mechanickým nakladačem až po plnicí okraj. Pohybem roštu se palivo dopravuje přes rošt. Vysychá, pyrolyzuje, zplyňuje se a během přípravné fáze se úplně spaluje. Primární vzduch se vhání pod a sekundární vzduch nad rošt a před dohořivací zónu částečně opatřenou šamotem. [8]



Obrázek 4 – Roštová topeniště pro dřevitou biomasu [8]

Roštová topeniště pro stébelniny

Takzvaný cigárový hořák je v podstatě roštovým topeništěm. Při tomto typu topeniště se balíky pomalu posunují do spalovacího prostoru, přičemž vyhořívání probíhá čelně. Odlomené a nespálené vrstvy slámy padají jako menší balíky na šikmý rošt a úplně tam dohoří. Chlazení vodou, klapky na podávacím zásobníku proti opětovnému vznícení a nastavení dostatečné minimální rychlosti posuvu brání prohoření balíků zpět proti směru podávání. Přednosti této technologie spočívají v menší potřebě úpravy paliva, kontinuálním přísunu paliva a relativně jednoduché konstrukci zařízení. Průřez balíků a nejmenší povolená rychlost posuvu určují minimální výkon tohoto způsobu spalování. Teplota měknutí popela (teplota, při které se popel začíná tavit), která je ve srovnání se dřevem a slámou nízká, může vést k tomu, že se palivo speče a zabrání prostupování vzduchu roštem. Maximální teplota ve spalovacím prostoru by neměla být vyšší než 800 °C až 900 °C. [8] (obrázek 5)

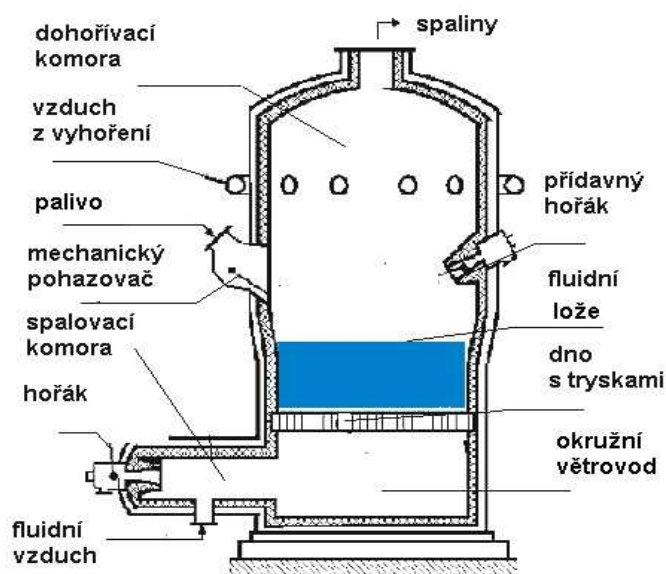


Obrázek 5 – Roštové topeniště pro stébelniny [8]

Stacionární fluidní topeniště

Při fluidním spalování se palivo spaluje při 800 °C až 900 °C na fluidním lůžku, které se z 95 % až 98 % skládá z inertního materiálu (např. písku) a pouze ze 2 % až 5 % z hořlavého materiálu. Na následujícím obrázku (obrázek 6) je schematicky znázorněna stacionární fluidní vrstva. Fluidní lůžko se vytváří přísunem fluidizačního vzduchu přes tryskové dno. Palivo se v tomto případě přidává mechanickým pohazováním shora na fluidní lože, palivo je však také možné přivádět za pomoci šnekového transportéru přímo do fluidního lože. Zde probíhá odplynění a zplynění paliva a odhoření pevného uhlíku. Velká část těkavých částic se spálí v dohořivací komoře. [8]

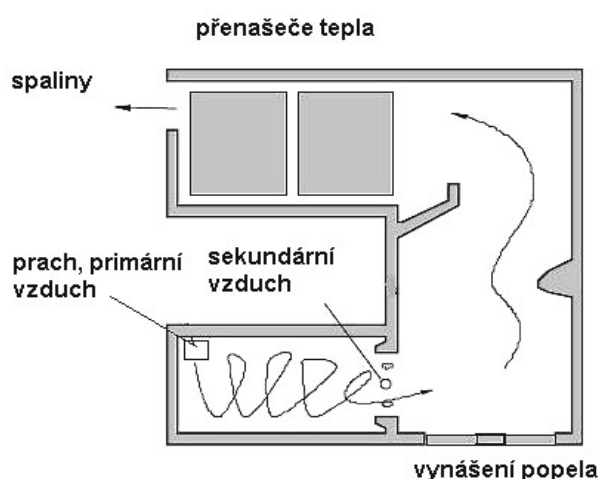
Horký odpadní plyn opouští spalovací komoru a je veden do předavače tepla. Protože jsou stacionární fluidní topeniště náročnější na přístrojové vybavení, je jejich použití vhodné u větších zařízení (> 10 MW). [8]



Obrázek 6 – Stacionární fluidní topeniště [8]

Cyklónová topeniště

Palivo s primárním vzduchem se tangenciálně vhání do spalovací komory a vytváří se rotující proudění. V oblasti zúžení se vhání sekundární vzduch. Toto zúžení způsobuje zvýšení rychlosti a tím také dobré promíchání spalin se sekundárním vzduchem. Cyklónová topeniště mají pro biomasu smysl obzvláště tehdy, pokud se palivo nachází ve velmi jemné formě. Tento případ se často vyskytuje v provozech dřevozpracovatelského průmyslu, který produkuje jemné třísky jako zbytkový materiál. Cyklónová topeniště na biomasu jsou k dispozici v rozmezí tepelných výkonů od 200 kW do asi 50 MW. [8]



Obrázek 7 – Cyklónové topeniště [8]

4 Charakteristika spalovaných surovin

Spalované suroviny mají rozdílné vlastnosti, které jsou zásadní pro návrhy konstrukcí a koncepcí jednotlivých spalovacích zařízení, zejména pro výpočet procesu spalování a škodlivosti spalin. Z tohoto důvodu dochází ke klasifikaci a rozboru složení jednotlivých biopaliv. [5]

4.1 Klasifikace tuhých biopaliv podle původu a zdroje

Klasifikace tuhých biopaliv je založená na původu a zdroji biopaliv. Klasifikační systém rozděluje podle původu tyto hlavní skupiny tuhých biopaliv [10]:

Dřevní biomasa

Lesní a plantážové dřevo

Lesní a plantážové dřevo v této kategorii může být upraveno pouze redukcí, velikostí částic, odzrněním, vysušením nebo zvlčněním. Lesní a plantážové dřevo zahrnuje dřevo z lesů, parků a plantáží a rychle rostoucí stromy. [10]

Dřevozpracující průmysl, vedlejší produkty a zbytky

V této skupině jsou klasifikovány vedlejší dřevní produkty a dřevní zbytky ze dřevozpracujícího průmyslu. Těmito biopalivy mohou být chemicky neošetřené dřevní zbytky nebo chemicky ošetřené dřevní zbytky, pokud neobsahují těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny, jež jsou výsledkem ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěry dřeva. [10]

Použité dřevo

Tato skupina zahrnuje dřevní odpad od zákazníků a společností. S ohledem na ošetření dřeva se používají stejná kritéria jako pro dřevozpracující průmysl, tj. použité dřevo nesmí obsahovat žádné těžké kovy nebo halogenované organické sloučeniny, jež jsou výsledkem ošetření konzervačními prostředky na dřevo nebo nátěry dřeva. [10]

Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi dřevní biomasy. Míchání je může být buď úmyslné (směsi) nebo neúmyslné (příměsi). [10]

Bylinná biomasa

Zemědělské a zahradní byliny

Materiál, který pochází přímo z pole, třeba po skladování, a může být upraven pouze redukcí velikosti částic. Je zde zahrnuto i sušení. Zemědělské a zahradní byliny pokrývají bylinný materiál ze zemědělských polí, zahrad a parků. [10]

Průmysl zpracovávající byliny, vedlejší produkty a zbytky

Zahrnuje materiál bylinné biomasy, který zůstal po průmyslové manipulaci a šetření. Příkladem jsou zbytky z výroby cukru a ječného sladu z výroby piva. [10]

Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi z bylinné biomasy. [10]

Ovocná biomasa

Sadové a zahradní ovoce

V této třídě je klasifikováno ovoce ze stromů a křovin a také plody z bylin. [10]

Průmysl zpracovávající ovoce, vedlejší produkty a zbytky

Zahrnuje materiál ovocné biomasy, který zůstane po průmyslové manipulaci a ošetření. Příkladem jsou vylisované zbytky z výroby olivového oleje nebo výroby jablečného džusu. [10]

Směsi a příměsi

Zahrnuje směsi a příměsi z ovocné biomasy. [10]

4.2 Mechanická úprava pevných biopaliv

Energeticky využitelnou biomasu většinou nelze ve spalovacích zařízeních použít přímo, ale je třeba je upravit vhodného tvaru a rozměrů – často se jako koncové metody používají metody briketování a peletování. Kromě tvaru a rozměrů jsou velmi důležité i mechanické vlastnosti briket a pelet. Ty zásadním způsobem ovlivňují nejen způsob manipulace s briketami a peletami, ale i ztráty při výše uvedených operacích. [11]

Při lisování biopaliv bez pojiv se jednotlivé částice přiblíží na minimální molekulovou vzdálenost. Mluví se o vzdálenosti, při které jsou účinné valenční síly ve

formě Van der Walsových sil. Uvedené pohyby molekul mohou proběhnout jen za velmi vysokých tlaků. Základním vstupním parametrem je vlhkost, která je důležitá pro lisování paliv z biomasy. Pokud vlhkost při lisování přesáhne hranici 20 % biomasa se v lisovací komoře nezhutní do požadovaného rozměru a briketa nebo peleta se rozpadne. Doporučuje se vlhkost maximálně do 15 % pro kvalitní zhutnění. [11]

Pelety

Pelety jsou zpravidla granule kruhového průřezu o průměru od 6 do 20 mm a délce 1 až 5 cm, které jsou vyrobeny výhradně z organického materiálu, biomasy bez chemických přísad a pojiv. Pelety se lisují za vysokého tlaku na protlačovacích matricových lisech. [11] (obrázek 8)



Obrázek 8 - Detail matricového lisu na pelety [12]

Dřevěné pelety mají výhřevnost $18 - 19 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, což je v žebříčku paliv řadí na místo mezi černým a hnědým uhlím. Mají však vyšší účinnost spalování a na rozdíl od uhlí, které má až 30 % pevného odpadu, mají dřevěné pelety pouze 0,5-1 % odpadu. Popel z tohoto druhu paliva je zároveň výborným minerálním hnojivem. Ve srovnání s klasickým dřevem, které má při dvouletém skladování vlhkost 15-20 % a tím i nižší výhřevnost cca $14 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, mají dřevěné pelety vlhkost jen 8-10 % a zabezpečují svými vlastnostmi mnohem vyšší životnost spalovacích zařízení. [11]

Brikety

Briketa je palivo uměle upravené lisováním sypkého materiálu bez přídavných pojiv do formy vhodné pro spalování. (obrázek 9) Je vytvořena stlačením různorodých složek. Proto nelze mluvit o homogenním tělese. Místní objemová hmotnost brikety

závisí na tlaku při lisování, struktuře materiálu, vlhkosti materiálu, druhu lisovaného materiálu. [13]



Obrázek 9 - Míchač a šnekový podavač v násypce briketovacího lisu [14]

Brikety musí splňovat požadavky platných technických, bezpečnostních, zdravotních, hygienických, obchodních a jiných předpisů, včetně předpisů týkajících se ochrany životního prostředí, vztahujících se na výrobek a jeho výrobu. [14] Při briketování je dosaženo standardní formy paliva pro jeho další použití ve spalovacím zařízení. Zpracováním je dosaženo podstatného zmenšení objemu a tedy zvýšení objemové hmotnosti i využitelné energie. Pro hustotu materiálu je předepsána hodnota $\rho \geq 1000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

Zákonným předpisem pro požadavky na dřevní brikety je směrnice č. 14/98 MŽP ČR, která však neudává požadavky na mechanické vlastnosti tohoto paliva, ale určuje vlastnosti dřevních materiálů pro výrobu hodnotného paliva, bez použití přídavného pojiva. Dřevní brikety jsou především vhodné pro spalování v kotlích a krbech. Podstatné jsou jejich malé nároky na skladovací prostory, necitlivost na vzdušnou vlhkost a možnost využití jejich popela jako minerálního hnojiva (obsah popela je 0,5-2 %). Měrná hmotnost briket je 1000 – 1200 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. [15], [16]

Přehled vyráběných pevných lisovaných biopaliv [17]:

Dřevní pelety

- suchá dřevní drť, piliny (6-12 % vody) jsou mechanicky, velkým tlakem zpracované do tvaru válečků o průměru 6-20 mm, délky od 10 do 50 mm, s měrnou objemovou hmotností 1 až 1,14 $\text{kg}\cdot\text{dm}^{-3}$

- výhřevnost 16,5 až 18,5 MJ·kg⁻¹
- obsah popela v sušině 0,5 až 1,1 %
- *použití*: pro automatické kotle rodinné a menší obytné domy, lokální automatická kamna pro byty [17]

Dřevní brikety

- mechanicky pod velkým tlakem zpracovaná suchá dřevní drť, piliny a jemné hobliny (6-12 % vody) do válečků, hranolů nebo šestistěnů o průměru 40 -100 mm, délky do 300 mm s měrnou objemovou hmotností 1 až 1,14 kg·dm⁻³
- výhřevnost 16,5 až 18,5 MJ·kg⁻¹
- obsah popela v sušině 0,5 až 1,5 %
- *použití*: malá topeniště, lokální kamna, kotle, krby s ručním přikládáním [17]

Dřevní a slaměné, kůrové a papírové pakety

- směsná, nahrubo drcená biomasa slisovaná středním tlakem do tvaru válců o průměru do 150 mm a délky 300 až 500 mm, s objemovou hmotností kolem 0,3 kg·dm⁻³
- výhřevnost do 15 MJ·kg⁻¹
- *použití*: kotle s výkonem přes 500 KW [17]

Pelety ze stébelnin

- mechanicky velkým tlakem zpracované suché, drcené stébelniny (sláma z obilovin, olejnin, travin, atd.) do válečků 6 až 20 mm, výjimečně hranolů délky do 10 až 50 mm s měrnou objemovou hmotností 1 až 1,2 kg·dm⁻³
- výhřevnost 16,5 až 17,5 MJ·kg⁻¹
- obsah popele 5 až 6 %
- *použití*: přídavek paliva pro automatické kotle s tepelným výkonem přes 25 kW [17]

Brikety ze stébelnin

- mechanicky velkým tlakem zpracované suché, drcené nebo nakrátko řezané stébelniny (sláma, obiloviny, olejniny, traviny, atd.) do tvaru válečků o průměru 40 až 100 mm, délky do 300 mm s měrnou objemovou hmotností až 1,2 kg·dm⁻³

- výhřevnost 16,5 až 17,5 MJ·kg⁻¹
- obsah popele 5 až 6 %
- *použití*: pro kotle, krby, topeniště s ručním přikládáním [17]

Kůra jako palivo

- suchá kůra z jehličnanů je součástí dřevních paliv, případně se využívá samostatně ve formě briket, méně pelet.
- výhřevnost (podle obsahu pryskyřic) je až 20 MJ·kg⁻¹
- obsah popela až 6 % [17]

Brikety a pelety kompozitní

- mechanicky velkým tlakem zpracované suché, drcené substráty s převahou dřevní nebo stébelnaté hmoty s přidavkem uhelného prachu s nízkým obsahem síry, vápenného prachu, papíru a ekologických pojiv, průměr do 20 mm a délky do 50 mm
- výhřevnost do 22 MJ·kg⁻¹
- obsah popele v sušině do 8 %
- *použití*: automatické kotle s vyšším tepelným výkonem [17]

Balíky stébelnin

- nízkotlaké s měrnou hmotností kolem 60 kg·m⁻³ – s celkovou hmotností 3-10 kg
- vysokotlaké s měrnou hmotností kolem 120 kg·m⁻³ – s celkovou hmotností 10-20 kg
- obří válcové s měrnou hmotností kolem 110 kg·m⁻³ – s celkovou hmotností 200-300 kg
- obří hranolové s měrnou hmotností kolem 150 kg·m⁻³ – s celkovou hmotností 300-500 kg [17]

4.3 Základní složení a vlastnosti tuhých biopaliv

Pro posouzení vhodnosti spalení tuhého biopaliva v určitém typu spalovacího zařízení je zapotřebí znát vlastnosti paliva, které je dostatečně charakterizují. Jsou to především: obsah vody v původním palivu W (% hm.), obsah popela v původním palivu A_d (% hm.), spalné teplo Q_s a výhřevnost Q_i (MJ·kg⁻¹), prchavá V a neprchavá hořlavina

FC (% hm.), obsah veškeré síry v palivu S_d (% hm.), charakteristické teploty popela – teplota počátku měknutí t_A , teplota tání t_B , teplota počátku tečení t_C (°C), spékavost popele. [18]

Všechna tuhá paliva, která se vyskytují v přirozeném stavu se skládají ze tří základních složek: z celkové vody, popelovin a hořlaviny. Toto složení lze vyjádřit vztahem [18]:

$$W + C + H + O + S + N + A = 100\% \quad (4.1)$$

W, C, H, O, S, N, A - jsou hmotnostní podíly veškeré vody, uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a popela v původním biopalivu [18]

Voda a popel tvoří nehořlavou část biopaliv, která se označuje také jako balast nebo přítěž. Svou přítomností v palivu přímo ovlivňují konstrukci spalovacích zařízení.

Hořlavá část paliva se skládá z uhlíku, vodíku, síry, dusíku. Z těchto prvků se účastní vlastního spalování, tj. exotermických reakcí s kyslíkem pouze uhlík, vodík a síra. [18]

Uhlík C

- je hlavním nositelem tepelné energie, nachází se v palivu ve formě organických sloučenin [19]

Vodík H

- bezbarvý, lehký plyn, bez chuti a zápachu. Je hořlavý, hoří namodralým plamenem, ale hoření nepodporuje. Při hoření vyvine asi 4x více tepla na jednotku hmotnosti než uhlík, což se příznivě projevuje na výhřevnosti biopaliva. Celkový vodík biopaliva se skládá z vodíku vázaného a vodíku nezadaného. Vodík vázaný je ta část vodíku, která je vázána na kyslík. Tento vodík spotřebuje určité množství tepla na odpaření vody. Vodík nezadaný je ta část vodíku, která zbude po sloučení s celým obsahem kyslíku v palivu. [19]

Síra S

- je nekovový prvek žluté barvy, patří do skupiny chalkogenů. Je poměrně reaktivní, přímo se slučuje se všemi prvky kromě vzácných plynů, dusíku, telluru, jodu, iridia,

platiny a zlata. S čistým kyslíkem síra za normálních teplot nereaguje, stejně jako s dusíkem. Ostatní nekovy reagují se sírou až za zvýšené teploty. Síra v palivu je nežádoucí, přestože zvyšuje výhřevnost. Produkty hoření síry mají nepříznivý vliv na trvanlivost spalovacího zařízení a znečišťují okolní atmosféru. Síra hoří na vzduchu modrým plamenem za vzniku oxidu siřičitého SO_2 a v malém množství i oxidu sírového SO_3 . Emise síry vzhledem ke stopovému množství síry obsažené v palivu rostlinného původu nepředstavují co se týče limitních hodnot žádnou potíže. [20]

Kyslík O_2

- plyný chemický prvek, biogenní. Při hoření směsi kyslíku s vodíkem lze dosáhnout teploty přes 3 000 °C. Kyslík je nežádoucí část paliva, protože váže vodík a částečně i uhlík a dochází k přeměnám na hydroxidy, vodu a oxidy. [19]

Dusík N

- plyný chemický prvek, biogenní, netoxický. V biomase se vyskytuje anorganický dusík v podobě amonných iontů nebo dusičnanů, který se při spalování mění na oxidy dusíku NO_x . Dusík se nezúčastňuje reakcí hoření a zcela přechází do spalin. Svou přítomností pouze snižuje obsah ostatních prvků, což se projevuje snížením výhřevnosti biopaliva. [21]

Chlor Cl

- toxický, světle zelený plyn, druhý člen řady halogenů. Chlor rovněž přechází během spalování z velké části do plynné fáze. Nejvíce limitujícím faktorem koncentrace chloru v palivu je jeho korozivní účinek při spolupůsobení s alkalickými prvky. [22]

Obsah vody v tuhých biopalivech

Voda je obsažena v každém tuhém biopalivu. Podobně jako popeloviny je voda nehořlavou složkou paliva, která snižuje jeho tepelnou hodnotu, a proto je nežádoucí [18]. Voda je v palivech vázána několika způsoby. Pro potřeby běžného analytického stanovení má význam voda volná a vázaná, která tvoří vodu celkovou. Volnou vodu lze od paliva oddělit odstředěním, odkapáním nebo filtrací. Zbývající podíl celkové vody tvoří voda kapilárně vázaná. Kapilárně vázaná voda se dále dělí na vodu hrubou, hygroskopickou a okludovanou. Voda hrubou stanovujeme tím způsobem, že neupravený vzorek paliva sušíme na vzduchu a tato voda je pak rozdíl hmotností vzorku před sušením a po něm.

Sušením paliva za teploty 105 °C se z paliva uvolňuje hygroskopická voda a toto množství se označuje jako voda zbylá. Okludovaná voda je množství vody, kterou nelze odstranit sušením materiálu a uvolňuje se až při rozkladných teplotách paliva. V tabulce (tabulka 7) jsou uvedeny některé druhy biopaliv, které mohou vznikat ze zemědělské a lesnické produkce a jejich porovnání s hnědým a černým uhlím s ohledem na výhřevnost a obsah vody.[5]

Tabulka 7 – Obsah vody a výhřevnost vzorků materiálů ze zemědělské a lesnické produkce v původním stavu [5]

Vzorek	Obsah vody v (%hm.)	Výhřevnost (M·kg ⁻¹)
Černé uhlí Ukrajina - referenční palivo	2,26	26,40
Hnědé uhlí Most - referenční palivo	29,00	17,12
<i>Dřevní paliva + směs</i>		
Lesní smrková štěpka, pelety (Ø10 mm)	6,79	17,18
Štěpka suché topoly	8,86	17,48
<i>Bylinná biomasa</i>		
Brikety ener.šťovíku (Ø10 mm)	7,75	16,86
Sláma obilní pelety (Ø10 mm)	7,31	16,53

Obsah popela v tuhých biopalivech

Minerální látky obsažené v tuhém palivu před jeho spálením se nazývají popeloviny a jsou složeny z křemičitanů, uhličitanů, síranů a dalších sloučenin. Největší podíl popelovin obecně tvoří křemičitan hliníku, vápníku, hořčíku a železa, volný kysličník křemičitý, uhličitan vápenatý a železnatý. Dále je obsaženo menší množství pyritu a nepatrné množství síranu vápenatého. [23]

Obsah popelovin v palivu rostlinného původu je velmi nízký, jak je vidět z chemického složení. (tabulka 8) Dřevní odpad má přibližně o 86 % nižší obsah popela než hnědé uhlí, což má následující pozitivní přínos: při spalování dřevních odpadů se sníží emise pevných částí popílku, při spalování dřevní hmoty odpadne nutnost kontinuálního odvodu tuhých zbytků po spalování a bude postačovat pouze jednorázové odpopelnění po určitém počtu provozních hodin. [24]

Tabulka 8 – Obsah popela a síry ve vzorcích materiálů ze zemědělské a lesnické půdy [5]

Vzorek	Obsah popela v (%hm.)	Obsah síry v (%hm.)
Černé uhlí Ukrajina - referenční palivo	10,10	2,48
Hnědé uhlí Most - referenční palivo	18,30	3,50
<i>Dřevní paliva + směs</i>		
Lesní smrková štěpka, pelety (Ø10 mm)	3,02	0,01
Štěpka suché topoly	1,64	0,01
<i>Bylinná biomasa</i>		
Brikety ener.šťovíku (Ø10 mm)	2,72	0,07
Sláma obilní pelety (Ø10 mm)	3,99	0,09

Obsah síry v tuhých biopalivech

Síra se vyskytuje v tuhých palivech v různé formě. Podle toho, na které složky paliva je vázána, se dělí na síru organicky a anorganicky vázanou. Při stanovení síry v tuhých palivech se zjišťuje síra veškerá, která je dána součtem síry spalitelné a nespalitelné. Síru spalitelnou představuje síra organická, která je součástí hořlaviny paliva, dále síra pyritická a síranová. Síra nespalitelná je síranová. [5]

Předností biomasy je, že obsahuje stopové množství síry, takže během spalování nevzniká škodlivý plynný exhalát SO_2 . (tabulka 8)

Prchavá hořlavina

Další důležitou hodnotou z hlediska spalovacího procesu je obsah a průběh uvolňování prchavé hořlaviny z paliva. Prchavá hořlavina je součástí celkové hořlaviny v palivu a tvoří jí plynné hořlavé látky, které se z paliva uvolňují při určité teplotě. Po příchodu paliva z rostlinné biomasy do spalovací komory a ohřátí na příslušnou teplotu, dochází k uvolňování prchavé hořlaviny a k tvorbě dřevěného uhlí. Palivem, které skutečně vstupuje do činného pochodu hoření není palivo primární, nýbrž prchavá hořlavina a dřevěné uhlí, které je v podstatě tvořeno uhlíkem s malým obsahem popela. Uvolněná prchavá hořlavina, která uniká za poměrně nízkých teplot, vytváří po smísení se spalovacím vzduchem hořlavou směs, která se stává iniciátorem spalovacího procesu.

Teplo uvolněné při jejím spalování přispívá k tepelné aktivaci dřevěného uhlí a vysoušení surového paliva. [25]

Spalné teplo a výhřevnost biopaliva

Při spalování se hořlavé látky paliva slučují a vznikají produkty spalování, nazývané spaliny. Tento pochod je doprovázen uvolňováním tepla, které se u tuhých i kapalných paliv vztahuje na hmotnostní jednotku $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$. V technické praxi se uvolněné teplo vyjadřuje jako spalné teplo Q_s^r nebo jako výhřevnost Q_i^r paliva. [26]

Spalné teplo je množství tepla, které se uvolní při dokonalém spálení měrné jednotky paliva $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ za předpokladu, že se spaliny ochladí na $0\text{ }^\circ\text{C}$ a že veškerá pára vzniklá při spalování zkondenzuje.

Výhřevnost paliva Q_i^r je množství tepla uvolněné při dokonalém spálení měrné jednotky paliva při ochlazení spalin na $0\text{ }^\circ\text{C}$, přičemž vlhkost paliva zůstane ve spalinách jako vodní pára. Hodnota výhřevnosti paliva je tedy nižší než spalné teplo o množství tepla potřebné k ohřevu vody z původní teploty paliva na $100\text{ }^\circ\text{C}$ a o skupenské teplo vypařování vody. Celkové množství tepla se uvažuje přibližně $2\text{ }500\text{ kJ}$ na 1 kg vlhkosti. V praxi se běžně počítá s výhřevností paliva, protože při spalování tuhých paliv v topeništích odchází odpařená voda se spalinami do komína o vyšší teplotě než je rosný bod vodní páry, nedochází ke kondenzaci a odnáší tedy část tepla v podobě tepla výparného. [27]

Výhřevnost paliv z rostlinné biomasy je tedy závislá především na obsahu vody (tabulka 7) a z tohoto důvodu se bude její hodnota pohybovat v širokém rozmezí. U dřevních materiálů je zajímavé, že různé druhy dřevin mají pro daný obsah vody prakticky shodnou výhřevnost. Je to dáno především velice podobným chemickým složením, a tak je možné vyvrátit vžitou představu o větší výhřevnosti tvrdých dřev před měkkými, neboť se jedná pouze o rozdílnou měrnou hmotnost. [28] Přehled (tabulka 9) uvádí chemickou analýzu vzorků smrku ztepilého v porovnání s referenčními uhelnými palivy

Tabulka 9 – Chemická analýza původních vzorků smrku ztepilého [5]

Vzorek	obsah vody v (%hm.)	popel (%hm.)	hořlavina prchavá (%hm.)	hořlavina neprchavá (%hm.)	spalné teplo (MJ·kg ⁻¹)	výhřevnost (MJ·kg ⁻¹)
Lesní smrková štěpka, pelety (Ø10 mm)	6,79	3,02	77,55	14,64	18,74	17,18
Kůra pelety -smrk (Ø10 mm)	8,52	3,33	67,78	20,37	17,48	16,18
II. referenční palivo - černé uhlí Ukrajina	8,26	10,10	6,90	80,78	28,27	27,60
II. referenční palivo - hnědé uhlí Most	20,80	20,40	42,50	38,20	17,23	15,79

5 Spalování biomasy

Spalování je definováno jako okysličování látek až na konečné zplodiny reakce s maximálním uvolněním tepla. Každý proces hoření je možný jen v určitém intervalu hodnot parametrů podmiňujících proces hoření, například rychlost vzduchu, velikost přebytku vzduchu a jiné. [5]

5.1 Druhy spalovacích procesů

Při spalování probíhají exotermické oxidační reakce, endotermické reakce tepelného rozkladu, fyzikální pochody směšování palivových a vzduchových proudů, výměna hmot a tepla.

Kinetické spalování

Proces hoření v kinetické oblasti je určen průběhem chemických reakcí paliva a okysličovadla. Podle chemické kinetiky elementární reakce se uskutečňuje srážkou molekul nebo jejím rozpadem [5]

Chemická reakce mezi látkami A a B, jejímž výsledkem jsou produkty C a D se znázorňuje stechiometrickou rovnicí [29]:



Šipkami je vyznačen směr reakce přímé a vratné. Reakce probíhající v obou směrech jsou zvrtné. Některé reakce probíhají prakticky jen jedním směrem a jsou proto nazývány reakcemi nezvratnými. Nezvratné reakce probíhají až do vyčerpání výchozích reagentů. [6].

Chemické reakce rozdělujeme podle fází paliva a okysličovadla na homogenní a heterogenní. Homogenní reakce probíhá mezi látkami ve stejné fázi. Heterogenní reakce probíhá mezi palivem a okysličovadlem v různých fázích. [29]

Difúzní spalování

V difúzní oblasti spalování se intenzita směšování paliva a kyslíku opoždí proti rychlosti chemické reakce, a tak reguluje průběh spalovacího procesu jako celku. Difúzní hoření se uskutečňuje v převážné většině technických pochodů hoření. Rychlost difúzního hoření je určena fyzikálními činiteli. V této oblasti přestávají mít vliv vlastnosti paliva

a okysličovadla na rychlost hoření a uplatňují se především druhy proudění vzduchu a plynu, rozdělení rychlostí, koncentrací a teplot v proudu plynu a vzduchu, tvar a rozměry obtékaných těles, výměna tepla mezi proudem a okolím a podobně. [29]

Zplyňování tuhých biopaliv

Zplyňování tuhých biopaliv je proces, při kterém se získá plynné palivo. Endotermické reakce, které se při zplyňování uskutečňují a při nichž se spotřebovává teplo, probíhají třemi způsoby: Boudordovou reakcí, heterogenní reakcí a metanovou reakcí. [29]

Boudordova reakce [29]:



Heterogenní reakce vodní párou, uhlík se zplyňuje redukcí vodní párou [29]:



Metanová reakce:



Z uvedených způsobů zplyňování uhlíku v tuhých biopalivech vyplývá, že jednotlivými endotermickými reakcemi se vyrobí oxid uhelnatý CO, vodík H₂ a metan CH₄, což jsou základní složky topného plynu. [29]

Vedle reakcí uhlíku s CO₂ má svůj význam také zplyňování uhlíku molekulami vodní páry podle výše uvedených rovnic endotermických reakcí, při nichž vzniká vodík a oxid uhelnatý. Molekuly H₂ a CO v tomto procesu sami difundují od částice paliva do prostoru, kde se setkávají s kyslíkem a shoří. Tyto nové molekuly vodní páry a oxidu uhličitého se zčásti vracejí k částicím paliva, ze kterého spotřebovávají při zplyňování další díl hořlaviny. To se opakuje až do úplného zplynění paliva. [29]

5.2 Stechiometrie spalovacích procesů

Základem každého výpočtu tepelné práce spalovacích zařízení je prvkový rozbor spalovaného biopaliva. Prvkové složení biopaliv má vliv na veškeré stochiometrické výpočty, výpočty tepelných účinností a ztrát spalovacích zařízení. U tuhých biopaliv se pro zjištění prvkového složení používá analýzy, kterou se zjišťuje procentuální hmotnostní

podíl uhlíku, vodíku, kyslíku, síry, dusíku a veškeré vody v původním palivu. Nehořlavé látky biopaliv, tj. obsah popela a obsah veškeré vody se určí spálením, respektive sušením příslušného vzorku. [30]

Stechiometrické výpočty spalovacích procesů doplňují charakteristiky biopaliva a jsou základem pro jakýkoliv tepelný výpočet. Jsou důležité zejména pro řešení celé řady problémů návrhové praxe, stejně jako při kontrole práce stávajících spalovacích zařízení [31].

Při výpočtech se stanoví:

- výhřevnost biopaliva
- množství kyslíku (vzduchu) potřebného k dokonalému spalování paliva
- množství a složení spalin,
- měrná hmotnost spalin,
- adiabatická, teoretická a praktická spalná teplota [31]

Výpočty spotřeby vzduchu a množství spalin

Podle podmínek, které se vytvoří pro spalovací proces, rozeznáváme:

1. Dokonalé spalování je takové spalování, při němž nastane spálení všech hořlavých složek v palivu, takže ve vzniklých spalinách již nejsou hořlavé složky obsaženy.
2. Nedokonalé spalování je takové spalování, při němž je určitý obsah hořlavých látek ve spalinách. Tento způsob spalování vzniká vždy když je součinitel přebytku vzduchu $n < 1$. Může však nastat i v případě že $n = 0$ nebo $n > 1$, když dojde k nedokonalému smísení paliva s oxidačním činidlem. Tento způsob spalování, zhoršující tepelnou účinnost spalování, je ve většině případů nežádoucí a používá se z technologických důvodů pro spalování vyjíměčně.
3. Smíšené spalování je takové spalování, při kterém obsahují spaliny jak oxid uhličitý CO_2 , tak oxid uhelnatý CO . [27], [32], [33]

Při přesných výpočtech objemových množství kouřových plynů a potřebného objemu spalovacího vzduchu se při spalování vychází z molekulové hmotnosti jednotlivých prvků hořlaviny. Molekulové hmotnosti prvků jsou uvedeny v tabulce. [27], [32], [33] (tabulka 10)

Tabulka 10 – Molekulové hmotnosti prvků [27], [32], [33]

Prvek	Kilomol	
	Hmotnostní (kg)	Objemový (m ³)
Vodík (H)	2,016	22,39
Uhlík C	12,01	22,39
Kyslík (O)	32,00	22,39
Síra (S)	32,06	22,39
Dusík (N)	28,02	22,39

Hmotnostní spalování

U hmotnostního spalování je uváděno teoretické množství kyslíku pro dokonalé spalování dle rovnice [27]:

$$O_{min} = \frac{32}{12} \cdot C + \frac{32}{4} H + \frac{32}{32} S - \frac{32}{32} \cdot O, (\text{kg} \cdot \text{kg}^{-1}) \quad (5.6)$$

Pro vyjádření jednotlivých složek spalín platí teoretické hmotnostní koncentrace dle rovnic, například:

- pro oxid uhličitý v suchých spalínách [27]

$$CO_{2max} = \frac{\frac{44}{12} \cdot C}{m_{spmin}^s} \cdot 100, (\%) \quad (5.7)$$

- pro oxid siřičitý v suchých spalínách [27]

$$SO_{2max} = \frac{\frac{64}{32} \cdot C}{m_{spmin}^s} \cdot 100, (\%) \quad (5.8)$$

5.3 Procesy při spalování biomasy

Spalovací procesy u pevných paliv je možné rozdělit do tří hlavních fází: sušení, odplynění a vyhoření zbytkového koksu. [8]

Sušení

Lokálně začíná sušení při dosažení teploty povrchu okolo 100 °C. Zatímco biomasa uvnitř ještě schne na povrchu již začíná odplynění. [8]

Odplynění

U biomasy začíná odplynění při asi 200 °C (pro srovnání u černého uhlí teprve při asi 450 °C). Po dosažení teploty pro odplynění unikají z paliva těkavé částice. Čím menší je velikost zrn paliva, tím větší je specifický povrch podílející se na přechodu tepla a tím více tepla se přenese na hmotu paliva. Přiměřeně tomu se palivo rychleji ohřeje a zapálí. Vypuzené těkavé částice paliva reagují s kyslíkem, který je k dispozici. [8]

Vyhoření zbytkového koksu

Po uvolnění těkavých částí zůstane zbytkový koks. Tento se s atmosférickým kyslíkem spálí na CO₂. [8]

Vznik škodlivých látek při spalovacích procesech u biomasy

Při spalování uhlovodíků vzniká převážně vodní pára a oxid uhličitý. Biomasa je oproti fosilním nosičům energie považována za CO₂ neutrální, protože jejím tepelným využitím se uvolňuje pouze takové množství CO₂, jaké během svého růstu odebrala z atmosféry. Navíc vznikají při spalování mezi jinými následující emise [8]:

- kyslíčník uhelnatý (CO)
- uhlovodíky (C_xH_y v plynné fázi)
- sloučeniny chlóru (HCl, dioxiny, furany)
- oxidy síry (SO₂, SO₃)
- oxidy dusíku (NO, NO₂ a N₂O)
- částice (popel, neshořelé palivo, saze)

Produkty neúplného spalování

Produktem neúplného spalování je např. oxid uhelnatý (CO) a uhlovodíky (C_xH_y). Jako meziprodukt mohou při spalování uhlovodíků vznikat také saze. Neúplné vyhoření plynu vzniká když [8]:

- je teplota v ohništi příliš nízká,

- je doba setrvání spalin v topeništi příliš krátká,
- není k dispozici potřebné množství spalovacího vzduchu,
- vzduch je špatně promíchán s kouřovými plyny.

Za pomoci vhodného provedení topeniště je možné produkty neúplného spalování téměř úplně odbourat na CO_2 a H_2O . [8]

Sloučeniny chlóru

Sloučeniny chlóru jsou relevantní především při vytápění stébelninami. Dřevitá biomasa oproti tomu vykazuje jen velmi malý obsah chloru, který se často pohybuje pod hranicí dokazatelnosti. [8]

Oxidy síry

Při spalování paliv obsahujících síru je síra emitována především jako oxid siřičitý v plynném stavu, pokud ovšem nejsou přijata opatření sloužící k navázání síry do pevných zbytků spalování. Kvůli malému obsahu síry v biomase mají emise SO_2 při použití tohoto paliva jen malý význam. [8]

Oxidy dusíku

Zde sledované oxidy dusíku ve vytápěcích zařízeních, obecně označované jako NO_x , sestávají asi z 95 % z NO a z 5 % z NO_2 . Teprve v atmosféře (při vyšším parciálním tlaku kyslíku a nižších teplotách než v ohništi) probíhá téměř dokonalá přeměna na NO_2 . Tvoření oxidů dusíku při spalování probíhá ze zásady třemi různými způsoby [8]:

- vytvářením palivového NO_x
- vytvářením termického NO_x
- vytvářením promptního NO_x

Při technicky běžných teplotách spalování (1 000 až 1 300 °C) vznikají oxidy dusíku téměř výlučně uvolňováním dusíku z paliva. Termický NO_x získává na významu teprve při vyšších teplotách. Promptní NO_x hraje podřadnou roli. [8]

Celkem vzato je možné říci, že vytvářené množství NO_x je ovlivňováno následujícími faktory [8]:

- celkovou stechiometrií: Tou je ovlivňována koncentrace atomového kyslíku. S ubývajícím přebytkem vytápění vzduchu ubývají v obvyklém případě emise NO_x .
- stechiometrií v primární zóně: Rychlým uvolňováním těkavých částic při podstechiometrických podmínkách je možné redukovat NO_x , což je užitečné u primárních opatření pro snížení oxidů dusíku.
- teplotou v reakční zóně: Rovnoměrným a rychlým promícháváním reagujících prvků v plameni je možné zabránit špičkovým teplotám a tím také do značné míry tvoření termického NO_x .
- dobou setrvání plynů v reakční zóně: Čím kratší je doba setrvání, tím méně termického NO_x se tvoří. [8]

Kontrola spalování biopaliv

Spalování všech druhů biopaliv probíhá za provozních podmínek s určitým přebytkem vzduchu, který je minimální, aby ztráty byly co nejmenší, avšak dostatečný, aby se zaručilo dokonalé spálení.

V provozní praxi se pro určení součinitele přebytku spalovacího vzduchu osvědčil způsob, který je založen na tom, že se změnou součinitele přebytku vzduchu se mění i složení spalin. Složení spalin se určuje analyzátozem a podle změn jednotlivých složek spalin se pak vypočítává skutečná hodnota součinitele přebytku vzduchu. [27]

6 Systémy čištění spalin vznikajících ze spalování biomasy

Při spalování biomasy se zpravidla dosahuje nízkých hodnot škodlivých emisí. Spalování tuhých biopaliv v rozmezí teploty plamene 900 až 1 100 °C při dostatečném přívodu spalných vzduchů s přebytkem kyslíku a s dostatečně velkým, neochlazovaným dohořivacím prostorem plamene se obsah CO často blíží k nule. Emise oxidu siřičitého jsou rovněž zanedbatelné. Stopy síry se u biopaliv vyskytují výjimečně, např. v kůře dřevin. Emise oxidů dusíku (NO_x) dosahují cca polovinu povolených limitů, ale mohou se zvýšit při překročení teploty plamene 1 200 °C. Rovněž biopalivo obsahující vyšší obsah dusíku než 1,5 % v sušině může překročit emisní limit NO_x . K tomu může dojít při spalování sena z mladé trávy. Emise chlorovodíku se mohou objevit při spalování energetických rostlin, které mají vyšší obsah chloru, což bývá způsobeno průmyslovými hnojivy obsahující tuto látku. [34]

Při spalování biomasy zůstává v palivu obsažený popel. V popelu může být v závislosti na kvalitě vyhoření ještě obsažena část hořlavých látek. Pevné zbytky ze spalování se rozdělují do dvou frakcí. Na jedné straně jsou to částice, které se pohybují se spalinami a jsou označovány jako popílek. Na druhé straně vzniká hrubý spečený popel a struska, které se ze zařízení odstraňují jako roštový a hrubý popel.

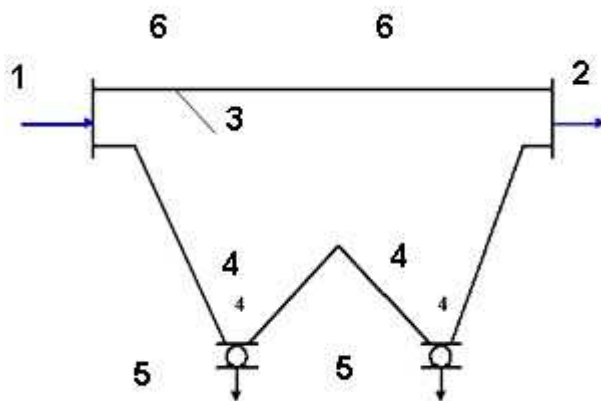
Další emise částic mohou být způsobeny tvořením sazí, které vznikají při nevýhodných podmínkách spalování jako produkt spalování uhlovodíků. [35]

6.1 Zařízení na odprášení spalin

Spalovací technikou a způsobem vytápění je možné emise částic ovlivňovat jen omezeně. Kvůli bezpečnějšímu dodržování mezních hodnot emisí je v každém případě třeba počítat se zařízením na odprášení spalin. [35]

Usazovací komory

Účinnost usazovacích komor je nízká, většinou nedosahuje ani 50 %. Je silně závislá na charakteru proudění, hustotě a hmotnosti částic, dalších fyzikálních a geometrických parametrech prachových částic [35].

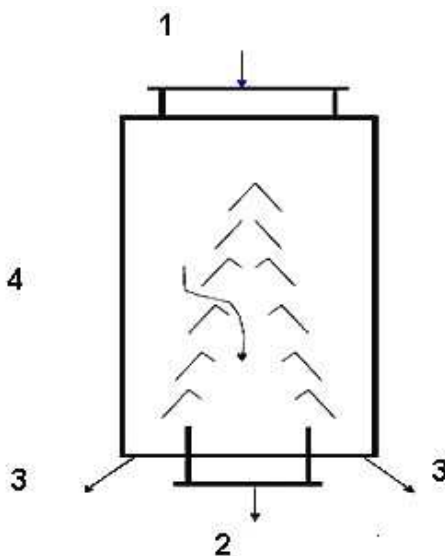


Obrázek 10 – Usazovací komory [35]

- 1 – vstup znečištěného plynu
- 2 – výstup čištěného plynu
- 3 – přepážka
- 4 – zásobníky prachu
- 5 – turniketové podavače
- 6 – odvod odloučeného prachu

Žaluziové odlučovače

V žaluziových odlučovačích (se využívá k odloučení částic současně změny dráhy plynu a setrvačnosti částic narážejících na přepážky – žaluzie. Tím částice ztrácí svoji kinetickou energii a volně padají do určeného prostoru, odkud jsou odváděny. [35]



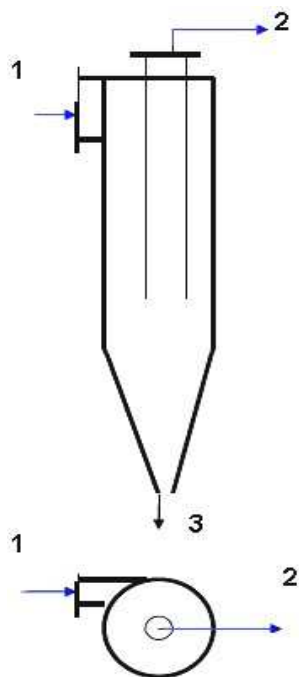
Obrázek 11 – Žaluziový odlučovač [35]

- 1 – vstup znečištěného plynu
- 2 – výstup odprášeného plynu
- 3 – výsypy prachu
- 4 – ocelová komora se žaluziemi

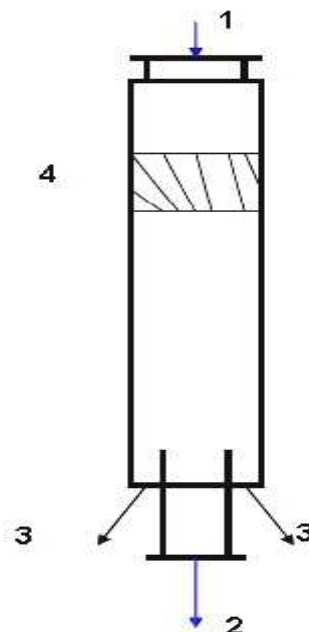
Vírové odlučovače – cyklóny

Jsou rozeznávány dva základní typy vírových odlučovačů [35]:

a) cyklón s tečným vstupem plynu



b) cyklón osový s vestavbou (vírník)



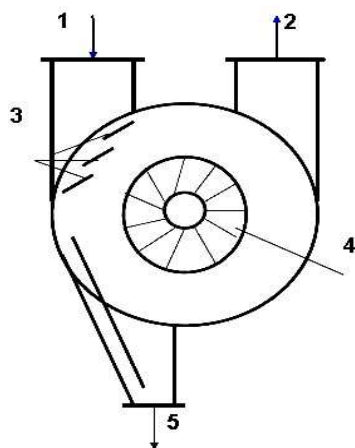
Obrázek 12 – Vírové odlučovače [35]

- 1 – vstup zaprášeného plynu
- 2 – výstup odprášeného plynu
- 3 – výstup odloučeného prachu
- 4 – pevné rozváděcí kolo

V praxi se většinou používá soustava několika paralelně řazených cyklonů, které nazýváme multicyklónem. [35]

Rotační odlučovače

V rotačních odlučovačích je vyvolávána odstředivá síla mechanicky rotorem s radiálně orientovanými lopatkami. Tok plynu je usměrněn a odlučování částic je zvyšováno žaluziemi na vstupu plynu do komory odlučovače. [35]

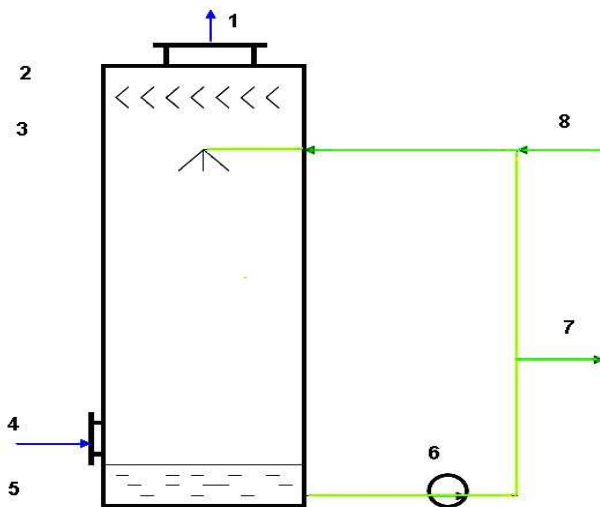


Obrázek 13 – Rotační odlučovač [35]

- 1 – vstup znečištěného plynu
- 2 – výstup odprášeného plynu
- 3 – žaluzie
- 4 – rotor
- 5 – výsyp odloučeného prachu

Mokrý mechanický odlučovač

K mokrým mechanickým odlučovačům patří sprchové věže. Principem funkce sprchových věží a ostatních mokrých mechanických odlučovačů je nástřik skrápěcí kapaliny do protiproudu čistěného plynu. Částice prachu se musí setkat s kapkou skrápěcí kapaliny a musí jí být smáčena. Smáčení prachových částic je podmínkou jejich zachycení v kapalně fázi. Sprchové věže bývají využívány k ochlazení a vlhčení čistěných plynů, ale i k absorpci znečišťujících plynů. [35]

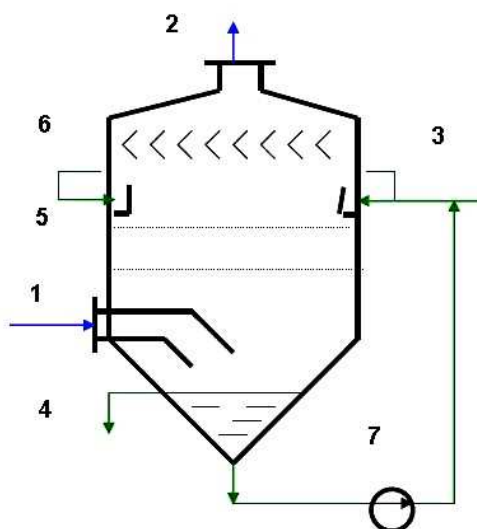


Obrázek 14 – Sprchová věž bez výplně [35]

- 1 – výstup čistého plynu
- 2 – žaluziový odlučovač kapek
- 3 – rozstříkovač skrápěcí kapaliny
- 4 – vstup znečištěného plynu
- 5 – předlohová nádrž
- 6 – cirkulační čerpadlo
- 7 – odpouštění koncentrované skrápěcí kapaliny
- 8 – přívod čerstvé skrápěcí kapaliny

Pěnové odlučovače

Pěnové odlučovače náleží k nejučinnějším a proto často používaným mokrým mechanickým odlučovačům. Jejich výhodou je vedle odprášení odpadních průmyslových plynů také jejich ochlazení a absorpce plynných znečišťujících složek. [35]



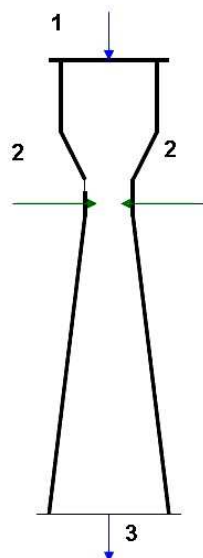
Obrázek 15 – Pěnový odlučovač [35]

- 1 – vstup plynu
- 2 – výstup plynu
- 3 – vstup skrápěcí kapaliny do rozdělovacího žlabu
- 4 – výstup skrápěcí kapaliny
- 5 – dvě pěnová patra
- 6 – žaluziový odlučovač kapek
- 7 – cirkulační odstředivé čerpadlo

Proudové odlučovače

Proudové odlučovače pracují na principu nástřiku vypírací kapaliny do proudu čistěného plynu. V něm se kapalina rozptýluje na jemné kapičky. Tím je dosaženo vysoké pravděpodobnosti kontaktu kapek s prachovými částicemi, podmínky jejich odloučení.

Velký mezifázový povrch je rovněž podmínkou pro intenzivní sdílení tepla a absorpci plynů během odlučování prachu. [35]

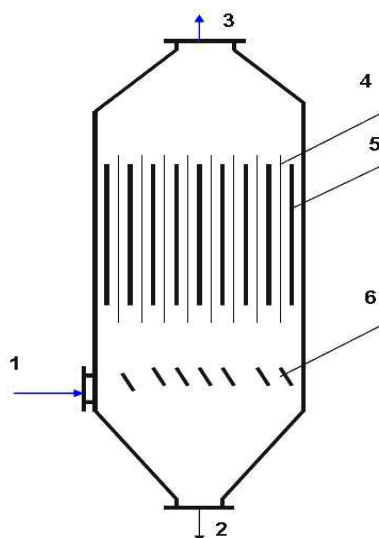


Obrázek 16 – Proudový odlučovač Venturi [35]

- 1 – vstup znečištěného plynu
- 2 – trysky pro nástřik vypírací kapaliny
- 3 – výstup plynu s vypírací kapalinou

Elektrostatické odlučovače

Elektrostatické odlučovače (dále EO) také bývají v odborné literatuře označovány jako elektrické odlučovače nebo elektrofiltry. [35]

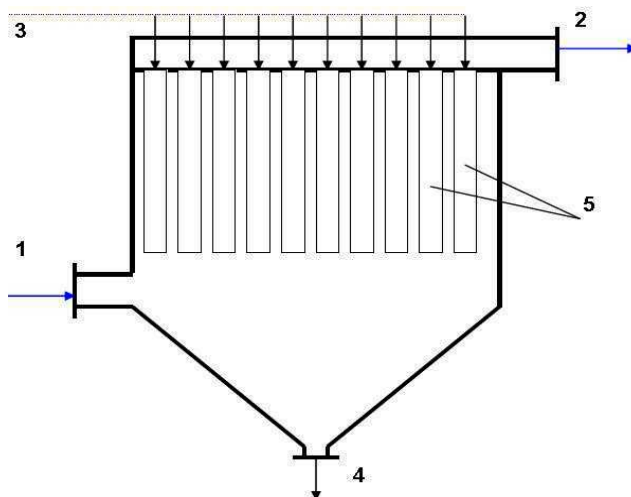


Obrázek 17 – Vertikální trubkový elektrostatický odlučovač [35]

- 1 – vstup plynu
- 2 – výstup odloučeného prachu
- 3 – výstup plynu
- 4 – drátová nabíjecí elektroda (katoda)
- 5 – trubková usazovací elektroda (anoda)
- 6 – rozváděcí žaluzie

Textilní filtry

V textilních filtrech je odlučování prachu zajištěno na filtrační přepážce. Kvalita filtrační přepážky zásadně ovlivňuje v první řadě účinnost filtrace, ale také provozní spolehlivost, tlakovou ztrátu, opotřebení a tím životnost filtrační vložky včetně ekonomiky provozu filtrace. Účinnost neboli odlučivost textilních filtrů přesahuje 99,9 %, a jsou pro to nejúčinnějšími mechanickými odlučovači prachu. [35]



Obrázek 18 – Textilní filtr [35]

- 1 – vstup plynu
- 2 – výstup plynu
- 3 – přívod tlakového vzduchu pro zpětný proplach
- 4 – výsyp odloučeného prachu
- 5 – koše s filtrační textilií

Separace homogenních směsí plynů

Technologická praxe čištění odpadních plynů vyžaduje vedle odloučení tuhých nebo kapalných částic, také odlučování plynů nebo par znečišťujících látek. K tomu účelu jsou obvykle užívány následující fyzikálně-chemické nebo čistě chemické metody [35]:

- kondenzace
- absorpce

- adsorpce
- oxidace nebo redukce nekatalyzované
- oxidace nebo redukce heterogenně katalyzované
- bioreaktory

Volba nejvhodnější metody je závislá na několika základních charakteristikách konkrétního technologického systému a konkrétní směsi plynů: [35]

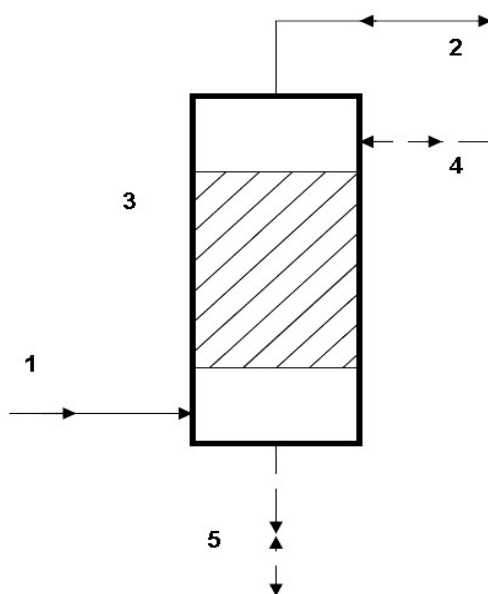
- teplota plynů a par
- celkový tlak
- chemické složení směsi plynů
- koncentrace a parciální tlak složek
- teplota bodu varu složek
- chemické vlastnosti jednotlivých složek a směsi

Pro čištění spalin, vznikajících ze spalování biomasy, jsou po odloučení pevných látek vhodné absorbéry s pevným nebo pohyblivým ložem a to zejména s ohledem na schopnost odloučení dioxinů a furanů. Dále připadají v úvahu redukční reakce na odstranění oxidů dusíku. [35]

Adsorbéry s pevným ložem

Adsorbent je uložen v jedné nebo více vrstvách na pevném roštu, v malých adsorbérech v koši z ocelového perforovaného plechu nebo ocelové síťoviny. Částice adsorbentu mají tvar tablet, plných nebo dutých válečků, kuliček, hrudek apod. Cílem je vytvoření vrstvy dobře propustné pro plyny s malým hydraulickým odporem a s co nejmenším vzájemným kontaktem částic adsorbentu. Konstrukce tohoto zařízení je složena z několika vrstev textilního filtru a adsorbentem bývá aktivní uhlí. [35]

Adsorbéry s pevným ložem jsou používány na čištění směsí plynů adsorpcí od dioxinů, benzofuranů, dibenzofuranů a jejich derivátů z absorpcí předčištěných kouřových plynů. Adsorbent není v těchto případech regenerován. Je zneškodňován cementací nebo spalováním při vysokých teplotách nad 1200°C s následným podchlazením spalin. [35]

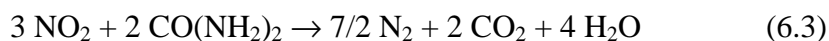
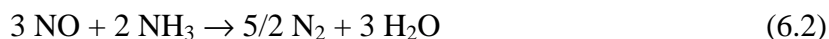
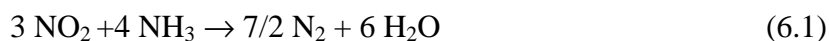


Obrázek 19 - Adsorbér s pevným ložem [35]

- 1 – vstup směsi čištěných plynů s uzavírací armaturou
- 2 – výstup čištěných plynů
- 3 – pevné lože absorbentu
- 4 – vstup regeneračního média s uzavírací armaturou
- 5 – výstup regeneračního média s desorbovaným plynem

Redukční reakce

Redukčními reakcemi jsou zneškodňovány v průmyslovém měřítku hlavně oxidy dusíku. Běžně jsou tyto metody používány v energetice u kotlů spalujících fosilní paliva, biopaliva, ale i v kotlích spaloven odpadů. Redukce probíhají za teplot kolem 700 °C při prakticky atmosférickém tlaku. Metodami selektivní nekatalytické redukce pomocí čpavku nebo močoviny, užitých jako redukčních činidel, jsou snižovány emise redukcí NO_x na dusík: [34]



Selektivní nekatalytická redukce probíhá v prostoru kotle, tj. za spalovací komorou. Do proudu spalin je nastříkovan několika tryskami roztok čpavkové vody nebo vodný roztok močoviny. Účinnost přeměny NO_x na NO₂ nepřesahuje 50 %. Uvedená

metoda je používána přes omezenou účinnost především proto, že je strojně-technologicky jednoduchá a často postačuje pro splnění platných emisních limitů NO_x v ČR a EU. [34]

Tvorba dioxinů

Dioxin - prudce jedovatý vedlejší produkt při výrobě pesticidů. [36]

Dioxin není jedna látka, ale obecný název pro dvě skupiny sloučenin blízkých si strukturou a chemickým chováním. Těmito skupinami jsou polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF). Skupinu dibenzodioxinů přitom tvoří sedmdesát a skupinu dibenzofuranů asi stotřicet jednotlivých látek. [37]

Jejich název je odvozen od 1,4 dioxinu a furanu na jejichž cykly jsou kondenzovány dvě benzenová jádra.

Do životního prostředí se PCDD/F dostávají dvěma hlavními cestami:

1. jako vedlejší produkty chemických výrob
2. ze spalovacích procesů. [37]

PCDD/F jsou tepelně stabilní do 900 °C a vznikají snadno při zahřívání chlorovaných organických látek na teplotu 300 °C. Velkým zdrojem emisí PCDD/F jsou klasické spalovny odpadů průmyslových i komunálních, metalurgické výroby, automobily, ale i elektrárny, teplárny a domácí kamna spalující uhlí a dřevo. [37]

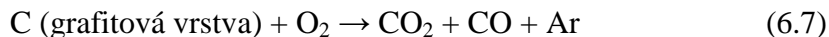
Známa je cesta vzniku PCDD/F při pyrolyzních procesech v topeništi reakcemi vedoucími od jiných organochlorových látek jako PVC ke vzniku chlorovaných fenolů, jejichž kondenzací polychlorované dibenzodioxiny vznikají. PCDD/F jsou ale detekovány i při procesech jako spalování biomasy, kdy tato cesta není možná. Sled reakcí vedoucích ke vzniku PCDD/F, kdy zdrojem chloru pro vznik organochlorových sloučenin jsou anorganické chloridy, se nazývá "syntéza de-novo". Tato teorie počítá s reakcemi odehrávajícími se na částicích uhlíku unášených ve spalinách, na které má prokazatelně katalytický vliv přítomnost mědi. Reakční schéma se pak skládá z těchto jednotlivých kroků: Plynný O₂ se chemisorbuje na kovový nosič (6.5). [37]



Kyslík je přenesen do volné polohy v uhlíkové struktuře a uhlík je oxidován na plynný produkt (6.6). [37]



V průběhu zplynění uhlíku, dekompozice jeho struktury vede ke vzniku aromatických sloučenin (6.7), které potom procházejí reakcemi vedoucími ke vzniku PCDD/F. [37]



Jinou možností je přímý vznik PCDD/F při dekompozici uhlíkové struktury (6.8). Halogenace a dehalogenace uhlíkové struktury, aromatických sloučenin a DD/F probíhá současně s těmito chemickými přeměnami. [37]



Syntéza "de-novo" se odehrává v teplotním rozmezí 200-400 °C, aby probíhala úspěšně, musí být splněny určité podmínky. V reakčním prostoru musí být dostatečné množství chloru a dost částic uhlíku s jeho vysoce katalyticky aktivním povrchem. Vliv množství chloru v palivu na množství PCDD/F je sice zřetelný, ale až po překročení určité limitní hodnoty. Vzhledem ke vlivu vyššího obsahu chloru a také vyššímu podílu poléťavého popela jsou emise PCDD/F z bylinných paliv výrazně vyšší než u dřeva. Emise PCDD/F jsou vyjádřeny rovněž ekvivalentem toxicity (TEQ). [37]

PCDD/F se vyskytují v ovzduší průmyslových zemí v koncentracích řádově jednotek pg/m^3 . Vyšší koncentrace lze zjistit ve vodě a půdě, kde samozřejmě jsou velké místní rozdíly v koncentraci. Relativně vysoké koncentrace jsou nalezeny v kalech z čistíren odpadních vod. V České republice nejsou limitní koncentrace pro PCDD/F uzákoněny, podobně jako je tomu u mnoha dalších toxických látek. Jediným vodítkem tedy zůstává limitní hodnota $0.1 \text{ ng/m}^3 \text{ TEQ}$ pro spalovny komunálních tuhých odpadů. [37]

7 Závěr

S postupujícím částečným nahrazováním fosilních paliv biopalivy, je třeba také monitorovat jejich negativní dopady na životní prostředí a navrhopat opatření pro jejich nápravu či úplné odstranění. Jedná se zejména o snížení emisí škodlivých látek obsažených ve spalínách. Toho je možné dosáhnout novými, dokonalejšími technologiemi spalování biomasy, a tedy i změnou spalovacích podmínek v nových konstrukcích těchto zařízení. Na druhé straně by bylo vhodné pokusit se snížit obsah chlóru v některých druzích energeticky výhodných fytopaliv jako například u energetických trav a stébelnin.

Toto vše samozřejmě nebude možné bez legislativních úprav, neboť jinak nevznikne patřičný tlak na potřebu výše uvedených opatření, a tím k snížení emisí zejména dioxinů a furanů.

Podle dosavadních dostupných měření prováděných na kotlích českých výrobců, nepředstavují emise dioxinů a furanů za stávajících podmínek reálné nebezpečí, i když obdobná měření prováděná v zahraničí ukazují o řád nižší hodnoty. [36]

S rozšířením pěstování energeticky výhodných rostlin, je třeba také upozornit na nebezpečí narušení biotopů a následně celé biodiverzity. Jsou tím myšleny zejména importované druhy rostlin z asijských zemí, které v mnoha případech vytlačují původní druhy a mění tak složení biotopů. Nebezpečí plyne také z nedostatku potravin v případě využívání potravinářských plodin jako ryze energetických a zároveň v snížení osevu zemědělských ploch potravinářskými plodinami, které jsou nahrazovány energeticky významnými rostlinami.

Seznam použité literatury

1. *Nařízení vlády č. 352/2002 Sb. ze dne 3. 7. 2002, kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší (zákon o ovzduší)*
2. *Nařízení vlády č. 352/2002 Sb. , příloha č. 4, Emisní limity pro velké a střední spalovací zdroje znečišťování pro oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, organické látky a tuhé znečišťující látky (zákon o ovzduší)*
3. *Směrnice č. 13 – 2006 s požadavky pro propůjčení ochranné známky – Teplovodní kotle pro ústřední vytápění na spalování biomasy*
4. *Nařízení vlády č. 352/2002 Sb. , příloha č. 7, Zjišťování znečišťujících látek kontrola účinnosti malých zdrojů (zákon o ovzduší)*
5. MALAŤÁK, J., VACULÍK, P.: *Biomasa pro výrobu energie*. ČZU Praha 2008. 206 s. ISBN 978-80-213-1810-6
6. *Vyhláška 357/2002 Sb., Vyhláška Ministerstva životního prostředí ze dne 11 července 2002, kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší*
7. *Směrnice 14 - 2006 s požadavky pro propůjčení ochranné známky – Brikety z dřevního odpadu*
8. Calla [online]. 2005 [cit. 2010-02-18]. Energetika - Biomasa. Dostupné z WWW: <http://www.calla.cz/data/energetika/cer2/Biomasa_vytopy.pdf>
9. SLADKÝ, Václav. *CZ Biom* [online]. 2008 [cit. 2010-02-20]. Časopis Biom, články a sborníky. Dostupné z WWW:<http://stary.biom.cz/sborniky/sb98PrPetr/sb98PrPetr_sladky.html>
10. JEVIČ, P., et al.: *Třídění kvality a specifikace tuhých biopaliv* In.4. Zemědělská technika a biomasa 2005, VÚTZ Praha 2005, Mze ČR 2005, 120-126 s. ISBN 80-8684-07-4
11. PLÍŠTIL, D., MALAŤÁK, J. : *Utilite Residua Biomass from Agricultural Procedure*. In.4. International Conference – Collection of Abstracts, Science and Research – Tool of Global Development Strategy, Czech university of Agriculture Prague, Technical Faculty, 2004, 36.s. ISBN 80-213-1187-8

12. *Peletovací lis*, [cit 2009-12-28]. Dostupný na
<http://www.malotraktorysilesia.cz/?p=p_10sName=PELETOVACI-LISY>
13. PLÍŠTIL, D., MALAŤÁK, J., HENEMAN, P. : *Zužitkování zemědělské biomasy do formy topných briket a zjištění jejich mechanických parametrů*, In:Mezinárodní vědecká konference mladých 2004 – Zborník, SPUv Nitre 2004, 205-210, ISBN 80-8069-422-2
14. *Míčač a šnekový podavač v násypce briketovacího lisu*, [cit 2009-12-28]. Dostupný na
<<http://www.pochman.eu/shop/catalog/product/gallery/is/8218/image/9356>>
15. PLÍŠTIL, et al.: *Mechanical characteristics of standard fuel briquettes on biomass basis*. In. Research in Agricultural Engineering, č.2, roč. 51, Prague 2005, 66-72 s., ISSN 1212-9151
16. PLÍŠTIL, D., MALAŤÁK, J.: *Utilize Residua Biomass from Agricultural Produce*. In:International Conference – Conference Proceedings, Science and Research – Tools of Global Development Strategy, Czech University of Agriculture Prague, Technical faculty 2004, 177-180, ISBN 80-213-1238-6
17. SLADKÝ V., DVOŘÁK J., ANDERT D.: *Obnovitelné zdroje energie – fytopaliva*, 2002, 55 s., ISBN 80-238-9952-X
18. RYBÍN, M.: *Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů*, SNTL Praha 1985, 520 s., ISBN 04-227-885
19. JURŠÍK F.: *Anorganická chemie kovů*, VŠCHT v Praze, Praha 2005, ISBN 80-7080-504-8
20. MALAŤÁK, J.: *Provozní ověření účinnosti regulace spalovacího procesu lambda sondou*, In: Sborník z mezinárodní vědecké konference – Progresívna technika v živočišnej, potravinárskej vyrobe a v odpadovom hospodárstve, SPU Nitra 2003, 72-77 s., ISBN 80-8069-224-6
21. MALAŤÁK, J., VACULÍK, P.: *Využití odpadů ze zemědělské činnosti pro výrobu energie – tuhá alternativní paliva*, č. 4 , AGRO – ochrana, výživa, odrůdy, roč. 12, 89-91 s., ISSN 1211-3662-X
22. DVOŘÁK, et al: *Emission characteristics of mixture p-fuelressed bio-fuels a combustion equipment*. Zvolen 2006, 266-274 s., ISBN 80-8069-711-6
23. DRAKE, P. F.: *Effect of Air Seidl on the Completeness of Combustion*, Jnl. Ind. Fuel 1963, 38-390 s.,

24. TRNOBRANSKÝ, K.: *Energetické využití dřevních odpadů spalováním a zplyňováním. Topenářství a instalace*, 1996, č. 2. 51.s
25. JEVIČ, P., et al: *Efficiency and emission parameters of heating freestanding appliances for verification of mixed and one komponent biobriquettes*, Raudondvaris 2006, 226-234 s., ISSN 1822-2706
26. JEVIČ, P., et al.: *Thermal-Emissions Characteristic of Bricketed Biofuels*, České Budějovice, 2005, 80 s., ISBN 80-7040-783-2
27. OBROUČKA, K.: *Termické odstraňování a energetické využívání odpadů*, VŠB Ostrava, Ostrava 2001, 143 s., ISBN 80-248-0009-5
28. MALAŤÁK, J.,: *Emisní koncentrace při spalování nekontaminovaného dřevního odpadu*, Praha 2003, 39-40 s., ISSN 1212-7779
29. SAZIMA, M.; KMONÍČEK, V.; SCHNELLER, J. *Teplo*. Praha : SNT Praha, 1989. 203-222 s.
30. MALAŤÁK, J. *Assessment of the Emission and Performance Characteristic at the Power Use of Solid Biomas in the Combustion Equipments with the Heat Output up to 100 kW*. In: International Congress on Information Technology in Agriculture, Food and Environment, Turkey : Bornova-Izmir 2003, 2003. 633-639 s. ISBN 975-483-598-5.
31. MALAŤÁK, J., et al. *Thermal utilization of liquid wastes from choice plant*. In: Current Trends of Primary Rareatment for Agricultural-Food Industry, Rational Evaluation of the Waste, FE Culs Prague, : Prague, 2007. 67-71 s. ISBN 978-80-213-16.
32. MALAŤÁK, J., et al. *Alternative fuels - agricultural waste material utilization*. [s.l.] : In: Agriculture - journal for agricultural sciences, roč. 53,, 2007. č.1.pp s. ISSN 0551-3677
33. MALAŤÁK, J., et al. *A Comparison of Bricketed Phytomass for a Combustion Equipment wiht a Power Output to 10 kW*. Boršice : In: Enfineering in managements integrated systems, Conference Proceedings from International Conference of Science, MuAF Brno, 2005. 51-55 s. ISBN 80-7157-864-9.
34. VÁŇA, Jaroslav: *Ekologická hlediska spalování biomasy*. Biom.cz [online]. 2003-06-30 [cit. 2010-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekologicka-hlediska-spalovani-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.

35. RICHTER, M. *FŽP UJEP* [online]. 2004 [cit. 2010-02-10]. Katedra technických věd. Dostupné z WWW: <http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/tezp/tezp2.pdf>
36. KOUTSKÝ, M., et al: Emise při spalování biomasy. *Biom.cz* [online]. 2002-08-07 [cit. 2010-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/emise-pri-spalovani-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
37. HOLUBOVÁ, V., et al. *Nový akademický slovník cizích slov A-Ž*. Vyd.1. Praha : Academia, 2005. 880 s. ISBN 80-200-1351-2.

Seznam obrázků

Obrázek 1 – Šachtové topeniště [8]

Obrázek 2 – Předtopeniště [8]

Obrázek 3 – Topeniště se spodním přívodem paliva [8]

Obrázek 4 – Roštová topeniště pro dřevitou biomasu [8]

Obrázek 5 – Roštové topeniště pro stébelniny [8]

Obrázek 6 – Stacionární fluidní topeniště [8]

Obrázek 7 – Cyklónové topeniště [8]

Obrázek 8 - Detail matricového lisu na pelety [12]

Obrázek 9 - Míchač a šnekový podavač v násypce briketovacího lisu [14]

Obrázek 10 – Usazovací komory [35]

Obrázek 11 – Žaluziový odlučovač [35]

Obrázek 12 – Vírové odlučovače [35]

Obrázek 13 – Rotační odlučovač [35]

Obrázek 14 – Sprchová věž bez výplně [35]

Obrázek 15 – Pěnový odlučovač [35]

Obrázek 16 – Proudový odlučovač Venturi [35]

Obrázek 17 – Vertikální trubkový elektrostatický odlučovač [35]

Obrázek 18 – Textilní filtr [35]

Obrázek 19 - Adsorbér s pevným ložem [35]

Seznam tabulek

Tabulka 1 - Spalovací zařízení spalující dřevo nebo biomasu [2]

Tabulka 2 - Emisní limity spalování paliv v malých zdrojích znečišťování ovzduší [3]

Tabulka 3 - Platné limitní účinnosti spalování pro spotřebiče spalující tuhá paliva pro uvedený výkonový rozsah [4]

Tabulka 4 - Účinnost spalování nepřímou metodou [4]

Tabulka 5 - Maximální přípustné hodnoty po dřevěné brikety podle vyhlášky č. 3570/2002 Sb. [6]

Tabulka 6 – Specifické požadavky pro brikety podle směrnice č. 14 - 2006 MŽP ČR [7]

Tabulka 7 – Obsah vody a výhřevnost vzorků materiálů ze zemědělské a lesnické produkce v původním stavu [5]

Tabulka 8 – Obsah popela a síry ve vzorcích materiálů ze zemědělské a lesnické půdy [5]

Tabulka 9 – Chemická analýza původních vzorků smrku ztepilého [5]

Tabulka 10 – Molekulové hmotnosti prvků [27], [32], [33]

Seznam příloh

Příloha 1 - Kombinované kotle Atmos	54
Příloha 2 – Kotel na slámu VESCO S	56
Příloha 3 – Kotel na štěpky VESCO B	57

Příloha 1 - Kombinované kotle Atmos

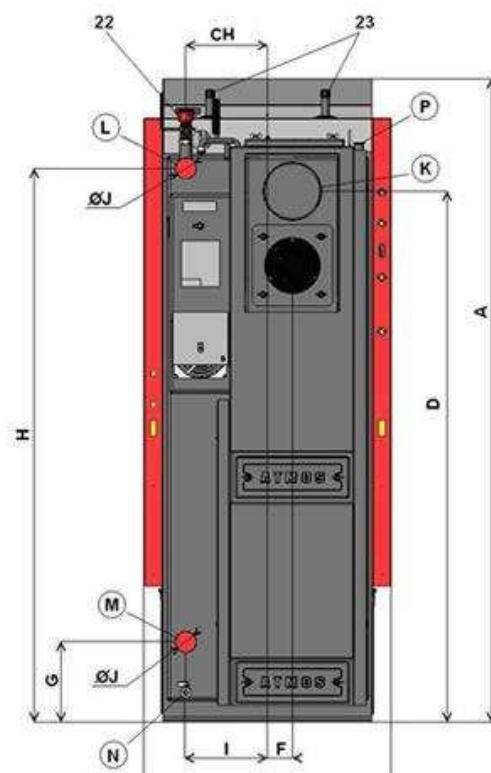
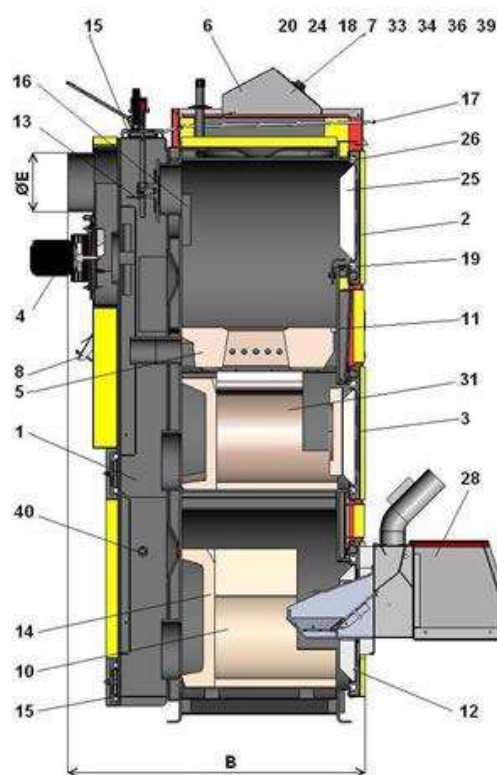
Kombinované kotle Atmos na zplyňování dřeva, pelety, zemní plyn a lehký topný olej splňující třídu 3 dle EN 303-5

Konstrukce kotle

Kotel sám je konstruován jako těleso se třemi pod sebou posazenými komorami. Vrchní dvě komory slouží ke zplyňování dřeva, tak jak to známe u klasických zplyňovacích kotlů, které vyrábíme standardně. Třetí, nejspodnější komora je zepředu osazena požadovaným hořákem a vyložena keramikou pro optimální kvalitu spalování. Spalovací systémy jsou od sebe odděleny vodním pláštěm, navzájem se tak příliš neovlivňují, a tím dosahuje kotel vysoké účinnosti při topení jednotlivými palivy. Odvod spalin do komína je řešen jedním výstupním hrdlem, a proto vystačíme s jedním komínem.

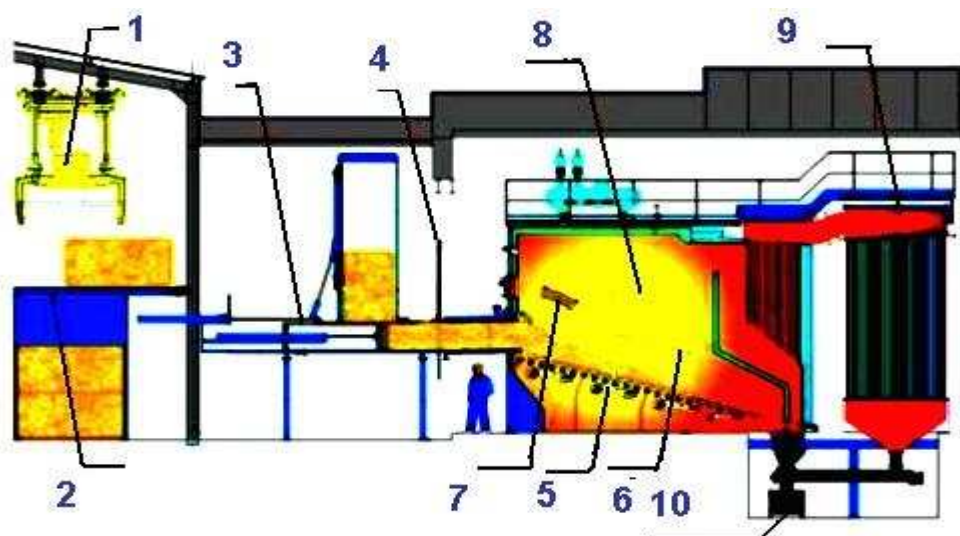
Výhody kotlů ATMOS

- možná kombinace jednotlivých druhů paliv - střídání paliva bez úprav na kotli dřevo + pelety, dřevo + zemní plyn, dřevo + ETO
- možná záměna jednotlivých hořáků - kdykoli můžeme přejít na jiné médium
- vysoká účinnost při jednotlivých palivech - prakticky stejná jako u speciálních kotlů na ETO, zemní plyn nebo pelety (až 92,3 % při jmenovitém výkonu)
- levnější řešení - sečteme-li náklady na pořízení dvou kotlů, jejich zapojení a odkouření (komín) zjistíme, že jeden kotel ač dražší je ekonomicky výhodnější
- malý zastavěný prostor - oproti více kotlům
- jeden komín a kouřovod
- ekologický provoz – kotel dle ČSN EN 303-5 třídy 3
- dotovaný kotel – pouze v provedení dřevo v kombinaci s hořákem na pelety



1. Těleso kotle	20. Vypínač
2. Dvířka plnicí - dřevo	22. Regulátor výkonu - Honeywell FR 124
3. Dvířka popelníková - dřevo	23. Chladicí smyčka
4. Odtahový ventilátor (mimo DC 15EP)	24. Regulační termostat
5. Žáruvzdorná tvarovka - tryska	25. Výplň dvířek - Sibral
6. Ovládací panel	26. Těsnění dvířek
7. Bezpečnostní termostat	27. Keramika - střecha
8. Regulační záklopka	28. Hořák na pelety, zemní plyn nebo ETO
9. Žáruvzdorná tvarovka - prodloužení kul. prostoru - (Kombi)	29. Žáruvzdorná tvarovka - kulový prostor (D 15)
10. Žáruvzdorná tvarovka - kulový prostor - (Kombi)	30. Žáruvzdorná tvarovka - vyložení kul. prostoru (DC 15E)
11. Těsnění - trysky - 12 x 12	31. Žáruvzdorná tvarovka - kulový prostor - dřevo
12. Dvířka - pro hořák na pelety	32. Žáruvzdorná tvarovka - zadní čelo kul. prostoru - dřevo
13. Zatápěcí záklopka	33. Termostat na čerpadlo (jen u DC 15EP)
14. Žáruvzdorná tvarovka - zadní čelo kul. prostoru - (Kombi)	34. Pojistka (6,3 A)
15. Víko čistící	35. Spalin. termostat (mimo DC 15EP)
16. Clona	36. Vypínač (přepínací)
17. Táhl roztápěcí záklopy	37. Koncový spínač s tlačítkem
18. Teploměr	39. Termostat na čerpadlo (DC 18-32 SP)
19. Clona topeniště	40. Měřicí místo pro analyzátor spalin

Příloha 2 – Kotel na slámu VESCO S



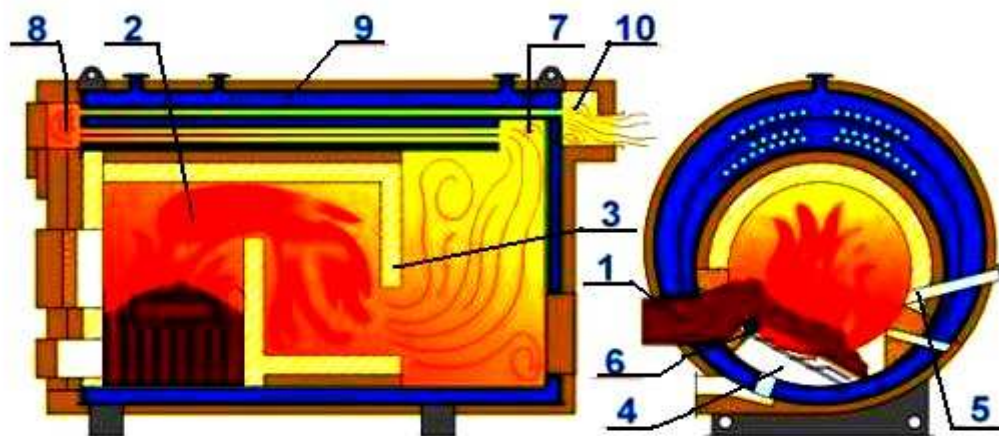
Popis kotle

Kotel VESKO-S je samostatný celosvařované skříňové konstrukce. Spodní část kotle tvoří skříň roštů, stěny spalovací komory jsou chlazené vodou. Rošt je chlazený spalovacím vzduchem, je ovládán hydraulickým mechanismem. Spaliny nejprve prochází prvním tahem konvenčního výměníku, dále postupují do dvoutahového odděleného vodního výměníku. Spaliny jsou z kotle odsávány přes systém odprášení spalínovým ventilátorem a jsou odváděny do komína.

Hlavní části kotle

1. Zakladač paliva
2. Dopravník slámy
3. Stříhací mechanismus
4. Branka
5. Šikmý suvný rošt
6. Přívod spalovacího vzduchu
7. Zapalovací klenba
8. Spalovací komora
9. Oddělený výměník
10. Dopravník popele

Příloha 3 – Kotel na štěpky VESCO B



Popis kotle

Je samonosný celosvařované skříňové konstrukce. Kotel VESKO-B spaluje biomasu na přesuvném roštu, nad kterým vhodně tvarovaná klenba vyvozuje protiproudé uspořádání spalín, které napomáhá ke zkrácení doby vysušení paliva. Spodní část kotle tvoří ohniště se suvným šikmým roštem. Rošt je ovládán hydraulickým mechanismem, je chlazený pásmovaným primárním vzduchem. Na ohništi je postaven tlakový díl. Kotel je opatřen tepelnou izolací, krytou ocelovým plechem s plastovým povlakem.

Hlavní části kotle

1. Vyhřívaný vstup paliva
2. Roštová komora
3. Trysky sekundárního vzduchu
4. Vírová komora
5. Dohořivací komora
6. Trubkový výměník
7. Vzduchové ventilátory
8. Odvod popele
9. Zavážecí lis paliva